





Depto

9372

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

Palchetto

Num.° d'ordine 26

T. B-6

NAZIONALE

B. Prov.

xxv

163

NAPOLI

BIBLIOTECA

VITT. EMANUELE III

Presented to
c. 30. volume come
in catalogue

J. Pier.

~~Y. Pier. 46.47~~

XXV
163



VA1
1524425

TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

DEL PROF. G. DESPRETZ

VERSIONE ITALIANA

SULLA QUARTA EDIZIONE DEL 1836

CON

ANNOTAZIONI E SUPPLEMENTI

DI

ANTONIO NOBILE.



VOL I



NAPOLI

PRESSO MICHELE STASI LIBRAJO-EDITORE

—
1858



PREFAZIONE

DEL TRADUTTORE

Poichè quest'opéra del Despretz la quale ora fra noi si reca a luce venne adottata per la istruzione nella Università di Francia, voltata in lingua italiana ed adoperata per l'insegnamento in alcuni luoghi dell'Italia, noi senza più avremmo servito alla utilità pubblica facendone stampare la versione, se non che ben altre ragioni ci hanno incuorati all'impresa. Chi ha fior di senno ovvero non ha bendati gli occhi da falso amore nazionale non potrà non conoscere il difetto di buoni libri patri in siffatto genere, e quanto vadano errati coloro che in Napoli si fanno a dettare opere antiche, o danno mano a libri moderni, gli autori de' quali, chiari forse in altre dottrine, o in tutte superficialissimi, si tengon separati e fermi in mezzo a' progressi maravigliosi della Fisica, fatta ora più che mai direttrice della moderna civiltà.

Ad ogni altra Fisica anteponemmo questa di Despretz, il quale ha saputo tenere un bel mezzo fra la inutile verbosità di alcuni trattati elementari, e gli scheletri imperfetti de' manuali. Egli doppiamente benemerito della scienza coi suoi lavori originali cioè, e con la pratica dell'insegnamento, ha riunito in un libro di poca mole tanta copia di elette dottrine, e con tanta sottilità e chiarezza discorse che alla mente del lettore offre lucidamente tutto il quadro de' fatti e delle teorie fisiche; e quando questi abbia a sdegno i limiti di una pura ed elementare istituzione, lo pone alla condizione da poter attingere sen-

z'ajuto verranno alti documenti dalle memorie, e dalle opere classiche di tale scienza, ed aprirsi da se medesimo la strada a nuove scoperte.

Noi ci rendiamo certi che gli amiei delle vecchie scuole usi a vedere negli elementi di Fisica la Meccanica, l'Astronomia, la Chimica, ec., o per meglio dire le sconciature imperfette di molte scienze, non saranno per far buon viso a quest'opera ad onta dell'esempio de' più grandi fisici della età nostra, ma noi ci terremo per contenti al voto di coloro che seguitano schiettamente i progressi dell'umana ragione, e che bene apprezzano quanto debbono le scienze, quanto deve l'incivilimento al gran principio della *buona divisione del lavoro*.

Noi avvisavamo rimettere a stampa l'ultima versione fiorentina del Despretz pubblicata nel 1835 ornandola di alquante note richieste alle posteriori conquiste della Fisica, ed alla condizione delle scuole napoletane, ma fatti certi che la medesima versione non pure mal risponde all'ultima edizione non ha guari dall'autore pubblicata, ma eziandio alla precedente, massime nelle materie riguardanti gl'imponderabili, così prima di dar principio alla teoria del calore, ci sian noi tolto anche il carico dell'intera versione, di maniera che questa prima edizione napoletana deve tenersi come un fedele volgarizzamento italiano dell'ultima edizione francese con aggiunta di annotazioni e supplementi.

Affinchè quest'opera torni di utilità più durevole agli studiosi della Fisica, noi promettiamo loro un supplemento di un foglio di stampa ogni anno destinato a mettere in vista le scoperte diverse che man mano si fanno in questa scienza, e quindi i mutamenti cui soggiacciono le materie contenute nell'opera. A questo modo verrà non pure adempito il desiderio di coloro a' quali importa il vedere in un quadro solo gli annuali progressi della Fisica, ma eziandio di coloro a' quali riesce increscevole il dover sempre far nuove ricerche di libri.

A. N.

AVVERTIMENTO

Le note dell'Autore verranno segnate con lettere grandi, quelle di A. N. con lettere piccole, e finalmente alcune di quelle che trovansi nella edizione fiorentina e che noi abbiám creduto utile il riferire in questa napoletana saranno indicate con numeri.

PREFAZIONE

DELL' AUTORE.

Quest' opera fedelmente rappresenta le lezioni che io professo nel collegio di Errico IV. Desiderando di renderla sempre più utile ai discepoli, ogni anno ho dovuto di molto migliorarla, di che farà testimonianza quest' ultima edizione.

La tavola messa in fine dell' opera indica la distribuzione delle materie, ma poichè la lettura di un' opera non vien mai incominciata da una simile tavola, e d' altra parte fa mestieri, prima di intraprendere lo studio di una scienza, di considerarla generalmente, e conoscere di che ella si componga, credo mio debito di chiarire primamente le sette grandi divisioni da me adottate.

I. Nozioni generali della materia, del movimento, e delle macchine semplici.

II. Istoria del calore — Teoria dei gas, e de' vapori — Igrometria.

III. Atmosfera — Barometro — Densità — Trombe d' aria, e ad acqua — Macchine a vapore.

IV. Elettricità — Galvanismo — Magnetismo — Fenomeni elettro-dinamici.

V. Ottica.

VI. Acustica.

VII. Meteorologia — Temperatura del globo — Sorgenti del calore.

Nella maggior parte delle altre scienze i fatti, ed i principî gli uni dagli altri si vengono deducendo, ed il loro sviluppo razionale segna al professore la traccia che egli esponendole debba seguirne; altrimenti addiviene nella Fisica, la quale varia come la natura che descrive, si forma di molte parti che non sono tra loro sì commesse da venire indispensabilmente in un medesimo ordine classificate; per il che riandate le proprietà generali della materia, dopo la teoria de' gas e dei vapori, torna quasi che indifferente il cominciare dall'ottica, dall'acustica, o dall'elettricità. Ma qualunque ordine voglia adottarsi, i principî, ed i fatti debbono in ogni parte essere snocciolati di grado in grado con chiarezza e precisione; il che io ho procurato come potevo.

La Fisica quale è oggi divenuta ha solo comune il nome con quella fisica scolastica che da' precetti di Bacone, e dagli esempi di Galileo fu bandita dal pubblico insegnamento.

Dai tempi di Newton gl'ingegni più elevati tenean per guida delle loro fatiche l'esperienza, onde potrebbe addursi in prova la decomposizione della luce. Nondimeno molti uomini di merito pativano ancora il giogo delle vecchie credenze, non pochi uomini chiari avevano per sola guida l'autorità degli antichi. Facendotempo da un mezzo secolo la fisica, questa bella parte dell'umana sapienza, è andata molto alto, diventando ricca di tante luminose scoperte alle quali, sia lode al vero, i dotti francesi hanno avuto la più gloriosa parte.

Non è mestieri dimostrare l'importanza dello studio della Fisica, poichè è chiaro che ella deve coronare ogni buona educazione, e bene esercitata, adorna come tutte le altre di forza e di giustezza l'ingegno de' giovani; ancora, avendo il doppio, e prezioso privilegio di ispirar loro un'alta idea intorno alla potenza e saviezza del Creatore, e di indicar loro gran copia di metodi sperimentali applicabili in infiniti casi, e molte nozioni utili ben'anche negli usi ordinari della vita.

Io non opinerò come coloro che attestarono essere i libri elementari poco favorevoli ai progressi delle scienze, anzi credo che aumentare il numero de' cultori, sia il modo più sicuro di far fiorire

una scienza, imperciocchè così il primo studio se ne rende più facile, se non che poche scienze vi sono delle quali in un volume ordinario non possono raccogliersi i principj generali ed essenziali, non che i fatti da' quali sono stati dedotti.

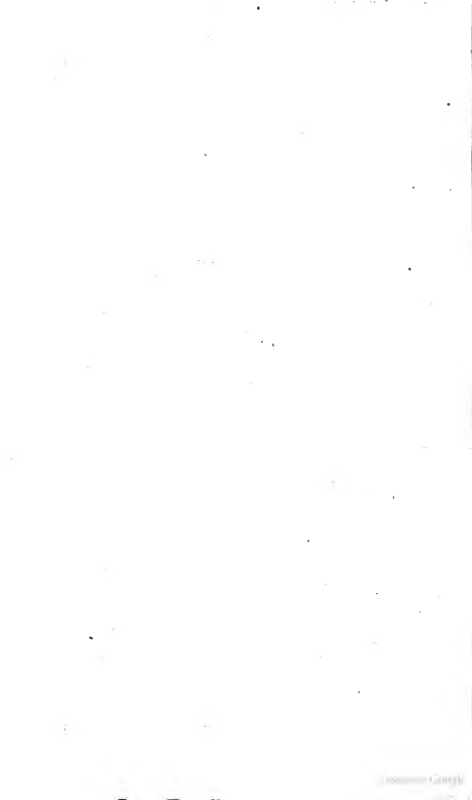
Alla fine del mio lavoro ho locato qualche capitolo intorno ad alcune materie le quali poco si vedono negli altri trattati di Fisica, cioè la meteorologia, la temperatura del globo, e le sorgenti del calore animale, perocchè mi parve che essendo queste diverse parti assai condotte a maturità, potevano bene aver luogo nell'insegnamento della Fisica generale, e però questa innovazione, già portata nella prima edizione, ricevette l'approvazione de' dotti. Come sarebbe stato difficilissimo esporre i fenomeni della gravità, la teoria e la costruzione degli strumenti d'ottica senza far uso delle formule algebriche, io le ho adoperate in qualche rarissimo caso, ma per non arrestare il lettore che avesse poca familiarità coll'analisi, ho rimmenati i calcoli nelle note.

Molti dotti che in due maniere favoriscono la scienza si con arricchirla di scoperte, e si coll'aiutarne i coltivatori con le loro dottrine, bene han voluto consigliarmi; io rendo loro infinito merito.

Avendo attentamente considerato il mio lavoro, e sviluppato molte parti di che solo io faceva menzione nelle edizioni precedenti, ho procurato di renderlo più degno di quella favorevole accoglienza accordatagli dal pubblico.

Parigi settembre del 1836.





TRATTATO ELEMENTARE

DI

FISICA

NOZIONI PRELIMINARI SULLA MATERIA,
LEGGI DEL MOTO,
DELLE CADUTE DEI CORPI, EC.



PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI

1° La Fisica si aggira specialmente nello studiare i cambiamenti passeggeri ai quali sono soggetti i corpi, tanto per la reciproca azione che hanno fra loro, quanto per l'azione della luce, del calore e dell'elettricismo, ec.

Si chiama *corpo* tutto ciò che è capace di produrre sui nostri organi un certo numero di sensazioni distinte. È provato dall'esperienza, che tutti i corpi possono essere divisi in parti sì piccole, che divengano impercettibili per noi; e queste si chiamano *particelle* o *molecole*.

Nella facoltà poi che ha ciascun corpo di eccitare in noi sensazioni diverse, consistono quelle proprietà particolari, per le quali ci accorgiamo della loro presenza. Fra queste proprietà, alcune appartengono a tutti i corpi, e però si chiamano generali. Tali sono l'estensione; l'impenetrabilità, la mobilità, la divisibilità, la porosità, l'inerzia, la gravità, l'attrazione; ma quantunque sieno proprietà generali, non tutte però sono essenziali alla materia. — Noi intanto ammettiamo insieme con molti fisici, che l'estensione, e l'impenetrabilità sono le

due sole proprietà senza le quali non può concepirsi l'esistenza de' corpi.

2° *Dell'Estensione*. Ogni corpo occupa una porzione dello spazio universale; e ciò suggerisce l'idea dell'estensione. Noi non possiamo concepire l'idea di un corpo senza associarvi quella dell'estensione.

Il volume d'un corpo non è altro, se non che la sua estensione, considerata relativamente alla grandezza delle sue dimensioni, le quali in qualunque anco picciolo corpo sono tre, cioè *lunghezza, larghezza e profondità*.

3° *Dell'Impenetrabilità*. Due corpi non possono occupare nel tempo stesso il medesimo luogo nello spazio: or questa proprietà inerente nella materia si chiama impenetrabilità.

La riunione di queste due proprietà, cioè estensione e impenetrabilità basta a caratterizzare la materia.

E non è in contraddizione coll'impenetrabilità l'apparente penetrazione di alcuni corpi. Una punta d'acciaio che s'impianta nel legno ne slontana le parti, ma non vi penetra: lo stesso accade di qualunque corpo solido che si muove nei liquidi.

Le combinazioni chimiche sembrano in generale indicare la penetrabilità. Per esempio l'alcool e l'acqua mescolati insieme occupano uno spazio minore della somma degli spazj occupati da ciascun liquido separatamente. Lo stesso accade nella combinazione dell'argento col rame per formar la moneta, nella combustione del carbone che accade nell'aria senza cambiamento di volume, ec. In queste diverse circostanze la penetrazione non è che apparente, come facilmente si comprenderà fra poco, osservando che la porosità è proprietà generale di tutti i corpi, cioè che le loro molecole lasciano in tutti più o meno ampj interstizj.

Nelle combinazioni chimiche questi interstizj si trovano occupati in parte dalle molecole dei corpi, dimanierachè il volume d'un composto risultando da una combinazione, può essere molto minore della somma dei volumi dei componenti, senza che per questo cessino d'essere impenetrabili le sostanze che hanno obbedito all'affinità scambievole per formare il composto.

Le altre proprietà generali dei corpi sono porosità, divisibilità, mobilità, inerzia, gravità e attrazione.

4° *Della Porosità*. Le molecole dei corpi non sono perfettamente a contatto fra loro, ma son separate da spazj vuoti, più o meno ampj, secondo i diversi corpi. Questi spazj che sono stati chiamati *pori*, sono generalmente pieni d'aria, d'acqua o di qualche altro fluido, come apparisce da tante circostanze. È noto in fatti che moltissimi corpi, come mattoni, stoviglie, legni, quantunque secchi all'esterna superficie, perdono nondimeno una quantità di peso nel prosciugarsi o disseccarsi, il che è l'effetto dell'evaporazione dell'acqua contenuta nel loro interno: e le bolle d'aria delle quali si vede esposto un pezzo di

zucchero nell'acqua, sulla superficie della quale compariscono, indicano che l'aria è rimossa dal liquido che s'introduce nei pori dello zucchero.

In alcuni corpi, come metalli, vetri, marmi, ec., la porosità non si manifesta sensibilmente come nello zucchero, nelle stoviglie, ec.; ma apparisce chiaramente, se si osservi che questi corpi crescono di volume per effetto del calore, e si contraggono per effetto del freddo; dal che risulta che le loro molecole non erano a perfetto contatto, perchè possono o più o meno essere ravvicinate fra loro. E di più, applicando una forte pressione sopra uno di questi corpi immersi in un liquido, possiamo assicurarci che il liquido penetra nei corpi senza produrre alcuna apparente rottura (1).

Si chiama *massa* di un corpo, la somma totale delle parti materiali che esso contiene; e questa somma totale, considerata sotto un volume dato, è ciò che si chiama *densità*; sicchè la densità è il rapporto della massa al volume (2).

5° *Della Divisibilità*. L'esperienza ci impara che tutt' i corpi tanto grandi da esser palpabili posson dividersi in molte parti; queste possono pure suddividersi in parti più piccole, finchè per successive divisioni si ottengano particelle insensibili. Maravigliosi sono gli esempj della divisibilità della materia. Un centigrammo d'indaco tinge di color blu molto intenso 100000 grammi d'acqua; ma

(1) Anco la cute degli animali ha infiniti pori, per i quali esalano quelle parti degli alimenti che non contribuiscono alle funzioni vitali, la quale esalazione si chiama *traspirazione*. Santorio di Venezia volle sperimentarne la quantità; e perciò passò qualche tempo sopra una bilancia costruita a questo fine, tenendo conto di tutto per conoscere le perdite fatte per via di traspirazione; e trovò che questa perdita in 24 ore era $\frac{5}{8}$ degl' i alimenti presi.

Ma egli non pensò a distinguere la traspirazione cutanea dalla polmonare. A ciò supplirono a Parigi i sigg. Seguin e Lavoisier, i quali, ponendosi sulla bilancia come Santorio, applicarono sulla loro cute un involuppo tale da impedire che si disperdesse l'umore che essa tramandava, e così potendo esclusivamente conoscere la quantità della traspirazione polmonare, trovarono il rapporto tra questa e la traspirazione cutanea di $\frac{7}{11}$, cioè che l'effetto della traspirazione polmonare è un terzo e più della traspirazione totale.

(2) Siccome un corpo è tanto più denso, quanto ha più massa sotto minor volume, e viceversa, così si dirà che la densità d è in ragione diretta della

$$\text{massa } m, \text{ e inversa del volume } v; \text{ ossia } d = \frac{m}{v}.$$

ciascun grammo può facilmente dividersi in 1000 parti, sicchè un centigrammo d'indaco è divisibile in 100 milioni di parti. L'odorato ci prova anco più della vista la gran divisibilità della materia. Una sola goccia d'essenza di terebinto sparge il suo odore in un vasto appartamento; l'odore di una piccola quantità di muschio si fa sentire in una stanza anco vasta per molti anni, senza che scemi sensibilmente il peso di esso, a mal grado che continuamente si rinnovi nella stanza l'aria, la quale porta seco le particelle odorifere di cui è piena la stanza medesima.

Una gran prova della divisibilità della materia si deduce pure dalla duttilità e dalla malleabilità dei metalli. Il battiloro riduce l'oro in foglie tanto sottili, che il minimo soffio basta a metterle in moto; e tanto questo metallo quanto il platino si riducono per mezzo della filiera a fili sottilissimi; sicchè con un grammo solo di uno di questi metalli, si può formare un filo di molte leghe di lunghezza (A).

6° *Dell'inerzia.* Tutti i corpi perseverano nello stato di moto o di quiete in cui si trovano; e questa loro incapacità di cambiare il proprio stato, si chiama inerzia. Questa inerzia, nello stato di riposo (B), vien costantemente provata dall'osservazione, giacchè nessuno ha mai visto un corpo in riposo mettersi in moto da se. Nè meno visibile apparisce l'inerzia nello stato di moto, nel corso dei Pianeti. La velocità del moto della Luna intorno alla Terra, e quella della Terra intorno al Sole non sembran punto diminuite dall'origine delle osservazioni astronomiche fin'ora. Che se sulla superficie della Terra non vediamo i corpi lasciati a se stessi conservare lungamente le velocità che hanno acquistate, ciò dipende dall'aria e dagli altri corpi, che con la lor

(A) E a questo proposito, è qui da notarsi l'ingegnoso metodo imaginato dal signor Wollaston, per dare ai fili di platino un grado tale di sottigliezza, che non si sarebbe mai potuto ottenere con gli ordinarj metodi delle filiere. Questo metodo consiste nel fissare nell'asse di un tubo voto un filo di platino già sottigliato, e coprirlo d'argento, col versarvelo in stato di fusione. Quindi si passa nuovamente per filiera questo filo così coperto d'argento; si scioglie poi l'argento per mezzo dell'acido nitrico e il filo di platino resta intatto. Il sig. Becquerel ha pure ottenuto fili d'acciaio sottilissimi, servendosi nell'indicato metodo di mercurio in vece di acido. Nel trattato dell'Ottica vedremo il vantaggio di questi fili.

(B) In sostanza, non consideriamo lo stato di riposo se non per effetto d'astrazione, poichè in tutto l'Universo non v'è una sola molecola in quiete. La Terra e i Pianeti si muovono intorno al Sole, il Sole medesimo si muove intorno al suo asse e probabilmente ha un moto di traslazione che porta seco tutto il nostro sistema planetario.

resistenza distruggono il moto di essi. I Pianeti poi, perchè si muovono nel vuoto (A), conservano le stesse velocità che in loro furono impresse in principio (1).

(A) Non possiamo oggi veramente ammettere con certezza che i pianeti si muovono nel vuoto. I cambiamenti che si osservano nelle rivoluzioni della così detta cometa di Enke son tali da non potersi spiegare colla sola legge della gravitazione universale, e si spieghino bene supponendo negli spazj planetari un'etere sottilissimo.

(1) Due altre proprietà di alcuni corpi meritano d'esser considerate, perchè frequentemente abbiamo luogo in Fisica di osservarle nell'andamento dei fenomeni. Queste sono la *compressibilità* e l'*elasticità*.

La *compressibilità* è quella proprietà che hanno alcuni corpi di poter esser ridotti ad un minor volume apparente. E qui si avverta, che per *volume apparente* si intende lo spazio apparente limitato dalla forma esteriore d'un corpo; mentre si chiamerebbe *volume reale* lo spazio che realmente sarebbe occupato dalla sostanza del corpo o dalla massa di materia, se non esistessero pori: sicchè sottraendo il volume reale dal volume apparente, avremmo precisamente il volume totale di tutti i pori presi insieme. Del resto, si sa che i tessuti molto porosi sono nel tempo stesso molto compressibili: così la spugna può ridursi a un terzo, a un quarto e anco a un decimo del suo volume apparente. La carta, la seta, il legno e tutti i tessuti nei quali possono penetrare i liquidi, son pur capaci di scemar di volume, e perdere per la compressione i fluidi o i liquidi che contengono. I metalli, possono esser compressi fino a ricevere qualunque impressione; e da ciò è derivato il vantaggio delle medaglie, delle monete, ec. Tutti i fluidi aeriformi son suscettivi della maggior compressione, e quindi sono i più capaci d'esser ridotti a minor volume, come vedremo nell'uso dello schioppo e dell'accendilume pneumatici.

I liquidi sono in generale molto meno compressibili anco dei solidi: l'acqua, per esempio, premuta con la più energica potenza in un cannone di metallo, che abbia le pareti grosse tre pollici, fa scoppiare il cannone prima d'essere scemata $\frac{1}{10}$ del suo volume. Infatti essa non si comprime se non 0,000046 per ciascuna atmosfera; mentre sarebbe necessaria una forza di mille atmosfere per rompere un cilindro di bronzo grosso tre pollici.

L'*elasticità* è la proprietà di quei corpi che, dopo cessata la causa che li comprime, ritornano alla loro primitiva forma e figura, la qual proprietà si dice anco *elaterio*. L'elasticità è perfetta, quando il corpo torna esattamente allo stato di prima. La luce e i fluidi aeriformi son quei corpi che più si avvicina-

7° *Dell'Attrazione.* In molte circostanze si vedono i corpi portarsi gli uni verso gli altri, senza che comparisca alcuna causa sensibile di tal moto; e questa tendenza scambievolmente è stata chiamata attrazione.

nano a questa perfezione d'elasticità. Fra i solidi i più elastici sono l'avorio, l'acciaio, e più di tutti il vetro. Se sopra un piano duro e levigato si sparga un sottile strato d'olio o un poco di finissima polvere, e vi si lasci cadere naturalmente una palla di avorio, essa rimbalza, e risale quasi fino al punto di dove cadde, il che è una prima prova della sua elasticità. Inoltre, guardando il punto del piano dove essa ha battuto, vi si trova un'orma visibilmente estesa, e ciò tanto più, quanto più energico è stato l'urto: ma la palla come sferica non può toccare il piano che con un punto; dunque nell'urto si è compressa e schiacciata, e poi, al pari d'una vescica piena d'aria, è tornata alla sua prima figura. Il fenomeno stesso si osserva nelle lame d'acciaio, nelle corde di metallo o d'intestini secchi, le quali vibrano, ossia tolte dalla situazione in cui si trovavano, vi tornano dopo un maggiore o minor numero d'oscillazioni, quando cessa la causa vibrante.

E qui si osservi, che il ritorno alla primitiva figura indica due forze eguali e contrarie, cioè una dall'esterno all'interno, che è la *forza di compressione*, e l'altra dall'interno all'esterno, che è la *forza di restituzione*. Vediamone un esempio.

Fissati perpendicolarmente due fili ad un telaio, alle loro estremità si attaccino due palle di massa eguale M, M' , in modo che restino a contatto, e per maggior chiarezza supponiamole prima corpi duri. Se si allontani M , e quindi si lasci libera, essa andrà a colpire M' in quiete, e le comunicherà una porzione del suo moto, sicché dopo l'urto andranno ambedue con la stessa velocità per la stessa direzione, secondo il principio che si dimostra in Meccanica, che nell'urto dei corpi le forze son proporzionali ai prodotti delle masse per le velocità. Ora ad M, M' si sostituiscano due palle elastiche parimente eguali m, m' . Dopo un urto simile al precedente, m comunicherà primieramente ad m' tal forza, che ambedue dopo l'urto dovranno andare con una velocità comune, secondo la legge indicata di sopra; sicché se m partiva con una velocità di 6° , e incontrava m' in riposo, dopo l'urto m avrà perduti 3° , e altrettanti ne avrà guadagnati m' . Nel momento dell'incontro, questi corpi sono arrivati al massimo grado di compressione: ma ad un tratto nasce l'elasticità o forza di restituzione in ambedue; dunque m' sarà spinta dall'elasticità di m nel senso della tendenza comune; e perchè questa forza è eguale a quella di compressione, m guadagnerà di nuovo altrettanta forza, cioè altri 3° , e quindi si muoverà con 6° ,

Si tenga fermo però, che con questo vocabolo si esprime il fatto e non la causa.

Se questa attrazione accade fra corpi posti a insensibili distanze,

e intanto al contrario la palla *m* sarà respinta indietro dall'elasticità di *m'*, e perderà anco i 3° di forza che le erano rimasti, e quindi dovrà restare in riposo.

L'apparecchio con cui si eseguisce questa esperienza fu imaginato dal celebre Newton. Il sig. Mariotte lo amplificò, per presentare un'applicazione più estesa del fenomeno. Dispose più palle A, B, C, D, ec. elastiche, di massa eguale, e a contatto l'una con l'altra, e con i centri sulla stessa linea, e sospese come nell'apparecchio precedente, se si allontanò una di esse per un arco, per es., di 6°, lasciandola poi a se stessa, nell'urtar che farà nella palla B, tutte le intermedie resteranno in riposo, e solamente l'ultima si muoverà per un arco di 6°. Ciò è chiaro dopo il precedente esperimento, perchè A comunica tutto il suo moto a B, e resta in riposo; B lo comunica alla contigua C, ec., e finalmente l'ultima, non avendo a chi comunicarlo, si muove con tutta la forza della prima. Se si ripeta il fatto, allontanando due palle in vece di una, le ultime due si muoveranno; se si allontanano le prime tre, si muoveranno le ultime tre, ec.

Del resto, accenniamo soltanto alcuni dei fatti principali che dimostrano alcune proprietà dei corpi, perchè serviranno di lume per intendere fenomeni simili relativi a corpi che non possiamo assoggettare ai sensi, come facciamo dei solidi; ma non c'impeghiamo in nessuna dimostrazione calcolata, perchè ciò appartiene alla Meccanica propriamente detta, e per non allontanarci dal piano dell'Autore.

L'elasticità è minore nei liquidi, perchè meno compressibili: finalmente è quasi nulla nei corpi molli, come burro, argilla umida, ec.

Nella maggior parte però dei corpi elastici l'elaterio si indebolisce per l'uso o per una compressione continuata per troppo tempo. Un arco tenuto teso innegamente, conserva in fine un poco della curva che acquistò nella tensione, che equivale alla compressione; il crine, la piuma, la lana che continuamente servono ai nostri usi, perdono in fine il loro elaterio, che però si può a questi corpi far riacquistare, togliendoli da quello stato di compressione.

Ma se certi corpi perdono la loro elasticità, altri ve ne sono ai quali è facile comunicarla. Così si accresce l'elasticità dei metalli o battendoli *a freddo*, o per mezzo di una mescolanza, giacchè la lega di due metalli è più dura, più rigida e più elastica dei metalli semplici che entrano nella composizione; e quindi la *tempera*, la quale consiste nel riscaldar vivamente l'acciaio, e raffreddarlo poi ad un tratto, tuffandolo nell'acqua freddissima, accresce l'elasti-

si chiama *attrazione molecolare*, di *affinità*, di *coesione*; e per essa si spiegano i fenomeni chimici e non pochi fenomeni fisici. Se accade a distanze considerevoli, si chiama col termine speciale di *gravitazione*. Tale è l'attrazione del Sole su tutti i corpi dell'Universo, e reciprocamente quella di tutti i corpi sul Sole. L'intensità di questa attrazione è in ragion diretta delle masse, e in ragione inversa dei quadrati delle distanze. L'attrazione totale di un corpo, deve esser la somma delle attrazioni particolari di tutte le molecole che lo compongono. In quanto alla legge secondo la quale l'intensità varia di forza al variare delle distanze, il Newton la scoprì cercando lo spazio che percorrerebbe la Luna in un istante determinato, se la Terra esercitasse liberamente sopra di essa la sua azione; e paragonando questo spazio con quello che nel medesimo istante percorrono i corpi presso alla superficie della Terra, trovò che l'intensità della gravità o dell'attrazione della Terra, scemava in ragione del quadrato della distanza. Non sembrano opportuni in questo luogo i calcoli sublimi che condussero quel gran Geometra alla scoperta di questa bella legge della Natura.

Una sfera attrac un punto materiale, posto sulla sua superficie o fuori di essa, con tale intensità, come se tutta la materia di cui è composta, fosse riunita nel suo centro. Con la Geometria si dimostra questa verità, che noi ammetteremo come un fatto, e che dall'altra parte è ben facile a comprendersi. Sia pertanto un punto *a* (f. 6 t. I)



cià di questo metallo, e lo rende tanto opportuno nelle manifatture e nelle arti.

Tutte le proprietà poi dei corpi, come osserva l'Autore, si riducono all'*estensione* e all'*impenetrabilità*, delle quali i primi giudici sono la vista ed il tatto. La porosità, la divisibilità, ec. dipendono dall'estensione, o sono piuttosto una modificazione di essa; e la mobilità e l'inerzia non sono che espressioni indicanti l'indifferenza perfetta della materia per la quiete e per il moto. Dunque tali proprietà possono con più rigore qualificarsi col titolo di *contingenti*. Il carattere dei corpi dedotto dall'estensione è evidente per se stesso. Quando noi tocchiamo o vediamo un corpo, questo corpo, o meglio, la facoltà che esso ha di agire sopra i nostri sensi, risiede in certe parti dello spazio e non in certe altre; dunque il luogo dove essa risiede è determinato, e per questo appunto è *esteso*.

Quando due porzioni diverse dello spazio hanno tutte le proprietà che qualificano per noi i corpi, l'esperienza prova, che esse non possono mai identificarsi l'una nell'altra, in modo che i medesimi punti fisici dello spazio producano in noi nel tempo stesso la sensazione di due corpi, e in ciò appunto consiste l'*impenetrabilità*.

posto fuori dell'inviluppo $dd'kk$. Se supponiamo tutta la materia riunita nel centro, la diminuzione dell'intensità prodotta dall'allontanamento, relativamente al punto a , dalle parti materiali della metà $dh'd$, sarà compensata dalla diminuzione della distanza di quelle contenute nell'altra metà $dk'd'$; e poichè una sfera può considerarsi come la riunione di infiniti inviluppi sferici, questa proposizione apparirà chiara anco a chi sia privo delle elementari nozioni del calcolo.

Due corpi posti presso alla superficie della terra, non manifestano alcun moto sensibile l'uno verso l'altro, perchè l'attrazione preponderante della Terra stessa rende nullo l'effetto della loro attrazione scambievole. Possiamo per altro render sensibile qualunque attrazione fra i corpi, per mezzo di un apparecchio ingegnosamente immaginato nel 1798 del sig. Cavendish. La parte principale d'un tal apparecchio è una leva orizzontale, sospesa ad un filo metallico verticale non torto (*f. 13 t. I*): la leva termina alle due estremità con due piccole palline metalliche; e molto vicino ad ognuna di esse son situati due globi di piombo ciascuno di circa un piede di diametro incirca, in modo che l'uno e l'altro cospirino a far girare le due braccia della leva per lo stesso verso. Ben disposto l'apparecchio, l'azione dei globi di piombo sulle piccole palline apparisce per mezzo di un moto sensibile impresso alla leva.

Il Cavendish, conoscendo il volume e la densità delle palline e dei globi di piombo, e il volume del globo terrestre, paragonando il moto della leva col moto che la gravità imprime ad un pendolo, potè dedurne la densità media del globo terrestre, che trovò eguale a 5, 5.

8° *Della gravità.* Non v'è alcun corpo presso alla superficie della Terra, che comparisca privo di gravità, cioè della proprietà di precipitarsi verso il centro della Terra. Questa proprietà non è una condizione essenziale all'esistenza dei corpi; nondimeno, poichè la gravità sempre accompagna la materialità, l'esistenza dell'una basta per farci dedurre l'esistenza dell'altra.

Del moto.

9° Si chiama mobilità la facoltà che ha un corpo di essere trasportato da un luogo in un altro. Questa proprietà appartiene a tutti i corpi della Natura, giacchè non v'è corpo che non possa esser messo in moto da una causa qualunque, che si chiama *forza*.

Il più semplice fra tutti i moti è quello in linea retta, e nel quale la velocità, ossia lo spazio percorso nell'unità di tempo, è costante. Il moto d'un orologio ben regolato è uniforme; gli spazj percorsi dalla lancetta in tempi eguali, son sempre eguali. Nel moto uniforme lo spazio percorso è eguale alla velocità moltiplicata per il tempo; e

questo moto si esprime con la formula $S=VT$, S rappresentando lo spazio, V la velocità, T il tempo (a).

La velocità può esser variabile; ed è questo il caso del moto vario. Nel moto uniformemente variato, che è il solo moto che noi qui consideriamo, la velocità cresce o scema di quantità eguali in tempi eguali; e le forze che producono questa specie di moto si chiamano forze acceleratrici o ritardatrici. Nel caso del moto uniformemente accelerato, se il corpo è spinto in principio da una velocità rappresentata da A , e se in ciascuna unità di tempo la forza acceleratrice aggiunge a questa velocità una quantità costante g , essa diverrà successivamente $A+g$; $A+2g$... $A+Tg$.

10. Vediamo come cresca lo spazio, relativamente ai tempi, supponendo nulla in principio la velocità, ossia $A=0$. Sia AF (f. 1 t. 1) la linea che rappresenta il tempo, divisa in un certo numero di parti

(a) Poichè nel moto uniforme gli spazi descritti in tempi eguali sono eguali, ne segue che ad un tempo doppio, triplo, quadruplo, ec., corrispondono spazi doppi, tripli, quadrupli ec; di modo che chiamando V lo spazio percorso in una unità di tempo, per esempio in un minuto secondo, $2V$, sarà percorso in due unità di tempo, $3V$ in tre, $4V$ in quattro, ed in generale TV' in T unità di tempo; e dinotando con S quest'ultimo spazio percorso, sarà $S=TV$, e $V=\frac{S}{T}$.

Da questa quantità V dipende la rapidità del movimento, e però è stata chiamata velocità; quindi la velocità è lo spazio percorso in una unità di tempo, o ciò che vale lo stesso il rapporto costante che passa tra il numero che dinota lo spazio a quello che dinota il tempo corrispondente. È facil cosa comprendere che se un mobile percorre in una unità di tempo lo spazio V , ed un'altro nello stesso tempo percorre $2V$, quest'ultimo si dirà avere velocità doppia del primo, avrà velocità tripla se percorre $3V$, e così procedendo avanti. Riesce facile dopo tutto ciò paragonare le circostanze di due mobili che si muovono con moto uniforme, ma con velocità diverse. Sieno V' , V'' queste velocità, S' , S'' gli spazi percorsi ne' tempi T' , T'' , noi avremo $S'=V'T'$ ed

$S''=V''T''$, e dividendo queste quantità

eguali fra loro si ha $\frac{S'}{S''} = \frac{V'T'}{V''T''}$, il che dimostra che gli spazi percorsi da due

corpi che muovonsi con moto uniforme sono come i prodotti de' numeri che dinotano la velocità per quelli dinotanti i tempi, e se questi ultimi sono eguali,

si ha $\frac{S'}{S''} = \frac{V'}{V''}$, ovvero che in tempi eguali gli spazi sono in ragione delle velocità.

eguali fra loro e all'unità di tempo. Supponiamo che le linee Bp , Cm , Dl . . . , alzate perpendicolarmente sulla linea AF , rappresentino le velocità acquistate dopo ciascuna unità di tempo: in tal caso lo spazio totale percorso, sarà la somma degli spazj parziali. Si potrà sempre prendere un'unità di tempo tanto piccola, che la velocità sia sensibilmente costante, e lo spazio percorso in questo caso sarà il prodotto del tempo per la velocità. Se ora il mobile riceva nel principio del suo moto le celerità Bp , Cm , Dl , ec., che esso non ha acquistate se non alla fine di ciascuna unità, lo spazio totale percorso sarà la somma dei rettangoli $ABpn$, $BCmz$, $CDlx$, ec. E se al contrario si supponga che esso in ciascuna unità di tempo si muova con la velocità che ha fin dal principio, allora la somma degli spazj percorsi sarà zero, $BCqp$, $CDrm$, ec. La prima supposizione dà un risultamento troppo grande, e la seconda troppo piccolo: la differenza pertanto sarà tanto minore, quanto minore sarà l'unità di tempo. Dall'altra parte si vede, che il loro limite è il triangolo AFH ; e quindi lo spazio percorso nel tempo AF , sarà $\frac{AF \times FH}{2}$: e poichè FH è la velocità finale eguale a Tg , l'espressione dello spazio percorso diverrà $\frac{T \times Tg}{2} = \frac{gT^2}{2}$. Dunque nel moto uniformemente variato, *gli spazj percorsi crescono come i quadrati dei tempi*

Da ciò risulta, che le due formule del moto uniformemente variato sono $V = gT$, ed $S = \frac{gT^2}{2}$. V è la velocità acquistata dopo un

certo tempo T ; S è lo spazio percorso nel medesimo tempo. Se dunque nella formula suddetta si faccia $T=1$, avremo $g=2S$; cioè, nel moto uniformemente accelerato, *la velocità acquistata dopo l'unità di tempo, è doppia dello spazio percorso in questa unità*. Soltanto per maggior semplicità abbiamo supposta nulla in principio la velocità del mobile; e questo caso noi contempliamo precisamente, perchè fra poco ne vedremo un' applicazione nella caduta dei corpi.

Se la velocità non fosse nulla in principio, sarebbe cosa semplicissima il tener conto di una velocità impressa da un impulso primitivo. Sia A questa velocità: la velocità totale di un corpo, sottoposto nel tempo stesso a questo impulso e all'azione di una forza acceleratrice costante, dopo il tempo T , sarà $A + gT$. Per avere lo spazio percorso, bisognerebbe sommare i due spazj separati: ora in virtù dell'impulso primitivo lo spazio percorso con moto uniforme sarebbe AT ; ma noi abbiamo veduto che la forza acceleratrice sola fa percorrere uno spazio $\frac{gT^2}{2}$; quindi lo spazio totale sarebbe rappresentato da $AT + \frac{gT^2}{2}$

In Meccanica si chiama *quantità di moto* il prodotto $M \times V$ della massa per la velocità; sicchè le quantità di moto di due corpi sono le medesime, se le loro velocità sono in ragione inversa delle loro masse. Inoltre una stessa forza applicata a corpi diversi, imprime in essi velocità che sono in ragione inversa di queste masse; in fine due forze disuguali applicate a due corpi eguali di massa sono fra loro come le velocità che esse imprinono ai corpi medesimi (1).

(1) Rischiariamo alquanto questa idea della *quantità di moto*, che è importantissima in Meccanica. Un corpo si muove a seconda della forza alla quale è stato soggetto. Una carica di polvere che scaglia una palla da schioppo, basterebbe appena a sollevare una bomba. Ora se supponiamo che la bomba e la palla cessino per un momento d'esser pesanti, e che non vi sia nulla che si opponga al moto impresso in loro, tuttavia la palla camminerebbe con maggior velocità della bomba, perchè la stessa forza, applicata a quantità diverse di materia, imprime una velocità tanto maggiore, quanto minore è la quantità di materia. Da ciò deriva l'assioma, che *una stessa forza, quando opera su mobili diversi, imprime in quelli tali velocità che sono in ragione inversa delle loro masse, ossia della quantità di materia di cui sono composti*. Così una forza che venisse impressa in palle, di cui le quantità di materia fossero 1, 2, 3, 4, ec., imprimerebbe in esse le velocità $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$, ec. Da ciò si vede, che la massa moltiplicata per la velocità, dà per ciascuna lo stesso prodotto; poichè per la prima questo prodotto sarebbe $1 \times 1 = 1$; per la seconda $2 \times \frac{1}{2} = 1$; per la terza $3 \times \frac{1}{3} = 1$, ec. Ora questo prodotto della massa del mobile per la sua velocità, è ciò che si chiama *quantità di moto*, e si rappresenta con l'espressione $M \times V = F$, indicando con M la massa, e con V la velocità. Così un'altra forza sarebbe $f = m \times v$; e però $F : f :: MV : mv$.

Da ciò deriva

1° Che le forze sono fra loro come le quantità di moto che esse producono, ossia come i prodotti delle masse per le velocità.

2° Che per masse eguali le forze sono fra loro come le velocità che imprimono.

3° Che per velocità eguali, le forze sono fra loro come le masse sulle quali operano.

Possiamo dunque ottenere uno stesso effetto con piccole masse, potendo imprimere in esse molta velocità, o con masse considerevoli animate da poca velocità. Così con le nostre armi da fuoco produciamo quegli effetti che si ottenevano un tempo con gli arieti, con le catapulte ec. Una palla lanciata da uno schioppo con la polvere, passa a traverso d'un vetro senza romperlo irregolar-

Applicazione alla gravità.

11. Prima di Galileo si credeva, che la velocità comunicata a diversi corpi dalla gravità, fosse diversa secondo la natura ed il volume di essi, deducendo tal'opinione dal vedere che i corpi di maggior peso cadevano più rapidamente dei più leggieri: ma Galileo dimostrò, che tal differenza di caduta derivava dalla resistenza dell'aria. Lasciò pertanto cadere dalla cima del campanile di Pisa quattro palle d'egual volume, d'oro di piombo, d'avorio e di sughero, ed osservò che la palla d'oro la quale era più pesante, cadeva la prima, e la più leggiera di sughero cadeva l'ultima, ma con tal ritardo, che era tuttora qualche piede distante dal suolo quando l'altra vi arrivava (1). Questo gran filosofo concluse con ragione, che tal ritardo non doveva attribuirsi ad una differenza d'azione nella gravità, ma bensì alla resistenza del mezzo a traverso del quale cadevano i corpi. La resistenza dell'aria è la stessa per tutte queste palle, perchè tutte presentano all'aria egual superficie; ma questa resistenza medesima, producendo una maggior diminuzione di velocità sui corpi più leggieri, essi a traverso dell'aria debbon cadere meno rapidamente.

Anco direttamente può verificarsi, che *l'azione della gravità imprime la stessa velocità in tutti i corpi*. Votato d'aria per mezzo della macchina pneumatica un tubo di una certa lunghezza, se si faccia cadere in esso varj corpi di piombo, di legno, di carta ec., si vedrà che tutti cadono contemporaneamente: e se nel medesimo tubo si lasci rientrar l'aria a poco a poco, si vedrà che sempre più cresce la differenza di velocità di questi corpi (c).

12. Il moto dei gravi abbandonati liberamente all'azione della Ter-



mente, come quando fosse scagliata con la mano, ma producendovi un circolo deciso del suo stesso diametro. Una sottile candela, scagliata nello stesso modo, può traforare un asse. Una verga posata sugli orli di due bicchieri colpita fortemente con altra verga, con molta velocità, si rompe senza che i bicchieri stessi si rompano ec. ec.

(1) Qualche piede è indeterminato. Ecco ciò che Galileo stesso asserisce (*Dialogo* 1° pag. 524). dicendo che « tra palle d'oro, di piombo, di rame, di porfido o di altre materie gravi, quasi del tutto insensibile sarà la disegualità del moto, che sicuramente una palla d'oro, nel fine della scesa di cento braccia non preverrà una di rame di quattro dita. »

(c) Una foglia d'oro o d'altro metallo cadendo da una altezza cade lentamente, l'istessa foglia agglomitolata cade più celeramente, la resistenza dell'aria maggiore in una superficie maggiore è dunque patente.

ra, deve essere uniformemente accelerato poichè quest'azione è continua, e di energia sensibilmente costante, essendo gli spazj percorsi presso alla superficie della Terra piccolissimi, in paragone delle distanze di questi corpi dal centro di essa (A).

Ma due ostacoli si oppongono nell'eseguire sulla verticale esperienze dirette, cioè la resistenza dell'aria e la rapidità della caduta, in virtù della quale un corpo percorre a Parigi nel primo minuto secondo uno spazio di 4^m, 9 ossia 15^p, 1, ai quali ostacoli però è facile rimediare. Si indebolisce notabilmente l'ostacolo prodotto dalla resistenza dell'aria, e si rende più facile l'osservazione del fenomeno, rallentando il moto del corpo che cade. Ora, è chiaro che la natura del moto accelerato è totalmente indipendente dal valore assoluto della forza acceleratrice, e dipende unicamente dalla continuità della sua azione e dalla costanza della sua energia.

Si faccia cadere, come operò Galileo, il corpo sopra un piano inclinato (*fig. 2. t. I*), sul quale la gravità, che nella verticale era g ,
 AB
 sarà ridotta a $g \times \frac{\text{AB}}{\text{AC}}$, e in tal maniera si può rendere il moto più

lento a piacere, per un piano più o meno inclinato. Dividendo la linea AC in parti eguali, e lasciando cadere il corpo dal punto A, primieramente per un secondo, quindi per 2, 3, ec., si vedrà che i numeri di divisioni percorse, sono come 1, 4, 9, 16 . . . , cioè che gli spazj 1, 4, 9, 16 . . . percorsi, sono proporzionali ai quadrati dei tempi 1, 2, 3, 4, ec. (prima proposizione verificata).



(A) Abbiamo già detto, che l'azione d'una sfera sopra un punto situato presso alla sua superficie è tale quale sarebbe se la sua massa fosse riunita nel suo centro. La Terra (*fig. 3. t. I*) opera sopra un corpo m dalla distanza cm : se esso fosse sulla superficie in r , la distanza sarebbe cr ; sicchè chiamando g l'azione della Terra alla distanza cr , cioè sulla superficie, alla distanza cm diver-

rebbe $g \frac{(cr)^2}{(cr+rm)^2}$. Ora poichè rm è piccolissima, relativamente al raggio dalla

Terra, $\frac{cr}{cr+rm}$ è sensibilmente eguale all'unità. Dunque la forza attrattiva è

prossimamente la stessa per tutte le osservazioni che facciamo in uno stesso luogo sulla superficie della Terra.

TAVOLA COMPARATIVA

Dei risultamenti per la verticale e sopra un piano inclinato, del quale l'altezza AB è un sesto della lunghezza AC.

TEMPI	SPAZI PERCORSI	
	verticale	piano inclinato
1 ^a	4 ^m , 9	0 ^m , 81
2	19, 6	3, 24
3	44, 1	7, 29

Nel moto uniformemente accelerato la velocità cresce in proporzione del tempo. Vediamo se accada lo stesso nella caduta dei corpi. Se dopo un tempo qualunque la forza acceleratrice cessa d'agire, il corpo proseguirà a muoversi con una velocità, che nello stesso tempo gli farà percorrere uno spazio doppio di quello che aveva percorso fin allora, come facilmente si rileva dalle formule del §. 10. La tavola precedente indica lo stesso rapporto: infatti lo spazio percorso in due secondi è composto dello spazio 0^m, 81 percorso nel primo, e di uno spazio eguale percorso nel secondo minuto secondo, in virtù della medesima azione. Bisogna dunque che lo spazio percorso in virtù dell'effetto ignoto della velocità acquistata, sia eguale a 2 volte 0,81, poichè lo spazio totale in due secondi è quadruplo di 0,81. Se nello stesso modo si calcolino le velocità acquistate dopo 2, 3, 4, ec. secondi, si vedrà che esse seguono la progressione 2, 3, 4, ec., cioè, che *nella caduta dei corpi le velocità crescono come i tempi* (seconda proposizione verificata).

13. Il celebre Atwood meccanico inglese ha inventata una ingegnosa macchina (*f. 7. t. I*), che serve per la dimostrazione sperimentale della legge della caduta dei corpi. La parte principale di essa è un filo di seta (*f. 16. t. I*), alle estremità del quale son fissate due masse eguali *m, m'* fra 300 e 400 grammi di peso. Il filo scorre nella scanalatura di una ruota, il moto della quale è reso facilissimo per mezzo di una disposizione particolare, che consiste nel far riposare il suo asse sopra altre ruote egualmente mobili: inoltre è fissato alla macchina un orologio H. Se si mettono in moto le due masse, spingendole, per esempio, con la mano, dopo cessata quest'azione, si conserveranno, in virtù dell'inerzia, nello stato di moto in cui furon poste, e il moto sarà necessariamente uniforme. Se in stato di riposo si aggiunga un peso ad una di queste due masse, l'azione della gravità operando sul peso aggiunto, lo determinerà a scendere, e di più imprimerà in esso un moto accelerato. Ma poichè esso nel cadere deve portar seco le due masse alle quali è annesso, il suo moto sarà

rallentato nel rapporto della sua propria massa alla somma delle masse totali; sicchè se le due masse primitive sono eguali ad m , e quella

del peso aggiunto sia p , la velocità sarà ridotta al rapporto $\frac{p}{2m+p}$.

Con questo apparecchio si possono ripetere le esperienze che abbiamo indicate per il piano inclinato. Si proverà primieramente che *gli spazj percorsi son proporzionali ai quadrati dei tempi*; e si verificherà egualmente la progressione d'intensità delle velocità acquistate a diversi istanti del moto. Si fa pertanto il peso aggiunto di forma bislunga: questo peso fatto a lastra è più lungo del diametro di un anello a adattato al regolo verticale su cui si contano gli spazj, dimanierachè il peso aggiunto vien trattenuto da questo anello, e il moto diviene uniforme in virtù della velocità acquistata. In tal maniera si trova, che questa velocità è tale, che il corpo *in un tempo eguale a quello in cui il moto era stato accelerato, percorre uno spazio precisamente doppio*: e collocando l'anello in modo che il moto uniforme venga prodotto successivamente dopo 2, 3, 4,..... secondi, si trova che le velocità sono assolutamente nello stesso rapporto.

TAVOLA DEGLI SPAZZI PERCORSI.

Durata della caduta	Caduta libera per la verticale	Somma delle masse	Somma delle masse
		105 gr; peso aggiunto $\frac{1}{8}$ gr; spazj percorsi	105 gr; peso aggiunto $\frac{1}{8}$ gr; spazj percorsi
1"	4 ^m , 9	0 ^m , 0116	0 ^m , 0058
2	19, 6	0, 0464	0, 0232
3	44, 1	0, 1044	0, 0522

La prima colonna comprende il tempo della durata della caduta; le altre tre rappresentano gli spazj percorsi; e i numeri di ognuna di queste hanno fra loro lo stesso rapporto dei quadrati dei numeri della prima.

TAVOLA DELLE VELOCITA' ACQUISTATE CORRISPONDENTI ALLA TAVOLA PRECEDENTE.

Dopo			
1"	9 ^m , 8	0 ^m , 0232	0 ^m , 0116
2	39, 2	0, 0928	0, 0464
3	88, 2	0, 2088	0, 1044

Da questi risultamenti apparisce ancora , che due forze diseguali applicate ad una medesima massa , imprimono in essa velocità proporzionali a quelle; e con l'esperienza si dimostrerebbe egualmente, che una stessa forza applicata a due masse diseguali , comunica a quelle tali velocità che sono in ragione inversa di queste masse.

14. Paragonando le due equazioni $V=gT$, $S=\frac{gT^2}{2}$, ed eliminando il tempo T , si ha per la velocità un'espressione totalmente indipendente dal tempo, cioè $V=\sqrt{2Sg}$, dalla quale si rileva , che per avere la velocità dopo un certo tempo, bisogna moltiplicare il doppio dello spazio percorso per il valore di g , cioè per $9^m,809$, ed estrarre dal prodotto la radice quadrata.

Da ciò può dedursi un'osservazione importante , cioè che se più corpi partono da una stessa altezza AB , e vanno per vie diverse AD , AC , AB , alla fine della caduta nei punti D , C , B avranno la stessa velocità (*f. 14 t. I*); il che apparisce chiaramente sostituendo successivamente a g , valore della gravità per la verticale, il suo valore per i piani inclinati AC , AD ; e si troverà lo stesso valore per la velocità acquistata nei punti D , C , B .

15. In quanto al moto ritardato, ne abbiamo l'esempio nei corpi scagliati dal basso all'alto con un impulso primitivo. Poichè in questo caso la gravità è diretta in senso contrario alla velocità dell'impulso, la velocità terminerà con divenir nulla, e allora il corpo in riposo, sollecitato dalla gravità sola, ricadrà verso la terra. Ora qual velocità dovrà imprimersi in un corpo per scagliarlo ad una data altezza? È chiaro che bisogna imprimergli la velocità che acquisterebbe cadendo dalla medesima altezza, cioè $\sqrt{2Sg}$. Così un corpo scagliato dal basso all'alto, arriverebbe a 2500 metri, se avesse una velocità di $\sqrt{2 \cdot 2500 \cdot 9,8}$, ossia $221^m,36$ per secondo.

Del Moto curvilineo.

16. Per ben comprendere il moto curvilineo è necessario conoscere la regola del parallelogrammo delle forze secondo la quale la risultante di due forze qualunque, applicate in un medesimo punto, e rappresentate da rette prese sulle loro direzioni, partendo da questo punto, è rappresentata in grandezza e in direzione dalla diagonale del parallelogrammo costruito sulle due linee proporzionali a queste forze.

Se dunque AB , AC , (*f. 8. t. I*) sieno le linee che rappresentano due forze p e q applicate nel punto A , si costruirà sopra AB , AC il parallelogrammo $ABCD$; e la diagonale AD sarà la risultante delle due forze p e q . Questa regola è vera, qualunque sia il rapporto delle forze; e la costruzione è pur la medesima, o commensurabili o incommensurabili che esse sieno tra loro.

Supponiamo che in D una forza rappresentata in intensità da DF agisca nella direzione DK : in questo caso il mobile sarà soggetto all'a-

zione della risultante AD e della nuova forza DF. Per trovare la direzione e il valore della risultante, bisognerà costruire sopra DF e DE=AD il parallelogrammo FDEH; e la diagonale DH di questo sarà la risultante delle tre forze AB, AC, DF. Così si continuerebbe la stessa costruzione per comporre un numero qualunque di forze. Se gl'istanti nei quali queste diverse forze esercitano la loro azione divengano sempre più prossimi, il poligono si cambierà in una curva che si chiama *traiettoria*.

Queste nozioni, per quanto succinte, basteranno per far comprendere più facilmente ciò che siamo per dire sulla proiezione dei mobili, sulla forza centrifuga, e sui pendoli.

17. Il moto d'un corpo scagliato in una direzione parallela, o obliqua all'orizzonte, presenta un esempio semplicissimo del moto curvilineo (f. 11. t. I). Il grave m , scagliato nella direzione mq da una causa qualunque seguirebbe la medesima direzione con velocità costante, se non fosse nel tempo stesso soggetto all'azione della gravità; sicchè dopo il primo istante sarebbe arrivato ad una distanza $m 1$, dopo il secondo ad una distanza doppia $m 2$, e così di seguito. Lo stesso mobile, soggetto soltanto alla gravità, osserverebbe la legge ordinaria dell'accelerazione dei gravi: dopo il primo istante sarebbe sopra la linea mp ad una distanza $m 1$; dopo il secondo, alla distanza $m 4$ quadrupla; dopo il terzo, ad una distanza $m 9$, nove volte maggiore, ec.: dunque in virtù delle due forze esso si troverà dopo la 1.^a 2.^a 3.^a ec. unità di tempo, in m' , m'' , m''' , ec.; e la serie di questi punti formerà una curva, la quale avendo le ordinate proporzionali ai quadrati delle ascisse, sarà la *parabola*.

Le bombe scagliate dall'espulsione della polvere descrivono curve paraboliche: il punto più elevato H è l'altezza del getto; e lo spazio MK ne è l'ampiezza (f. 15. t. I). Si osservi però che la forma parabolica non è esatissima, perchè la resistenza dell'aria altera il moto del proiettile (1).

Della forza centrifuga.

18. Sia un punto materiale m (f. 10. t. I), attaccato ad un punto fisso c per mezzo di un filo inestensibile cm . Supponiamo inoltre che a questo punto materiale venga impressa una velocità qualunque nella

(1) La traiettoria descritta dai pianeti è un'ellisse. Tre sono le leggi del moto dei pianeti medesimi intorno al Sole, chiamate *leggi di Kepler*, perchè scoperte da quel celebre astronomo, il quale le dedusse dall'osservazione.

1.^a I pianeti si muovono in curve piane, e i loro raggi vettori descrivono intorno al centro del Sole aree proporzionali ai tempi.

2.^a Le orbite, cioè le traiettorie dei pianeti sono ellissi, delle quali il centro del Sole occupa un fuoco.

3.^a I quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti intorno al Sole sono fra loro come i cubi dei grandi assi delle loro orbite.

direzione mF , perpendicolare alla lunghezza del filo. Il punto m , se non è soggetto ad alcuna forza acceleratrice, descriverà un circolo, il centro del quale sarà in c , e il raggio sarà cm . Durante il movimento il filo proverà una tensione nel senso della sua lunghezza; e questa tensione appunto è la forza *centrifuga*. Si può astrarre dal filo, e considerare il mobile come libero, se si applichi ad esso una forza eguale e contraria alla tensione. Dalla combinazione di questa forza *centrale*, e dall'effetto dell'impulso primitivo risulta appunto la descrizione del circolo.

La forza centrale, che chiameremo f , può riguardarsi come costante in grandezza e in direzione per un tempo infinitesimo θ : così mentre il mobile percorre l'arco $m'm$, la forza centrale è parallela al raggio mc ; dimanierachè se la forza centrale agisse sola sul mobile, gli farebbe percorrere lo spazio ms . Ora dalla formula $S = \frac{gT^2}{2}$ del

$$\S. 10, \text{ si ha } g = \frac{2S}{T^2} :$$

avremo dunque, mettendo in luogo g ed S i cor-

rispondenti valori attuali, $f = \frac{2ms}{\theta^2}$; ma per una delle note pro-

prietà del circolo, $ms = \frac{m'm^2}{2mc}$, quindi sostituendo ad ms il suo va-

lore, sarà $f = \frac{m'm^2}{\theta^2 mc}$: e poichè il moto circolare è uniforme, $\frac{m'm}{\theta}$

ossia lo spazio diviso per il tempo, rappresenta la velocità. In questa circostanza si può prendere l'arco per la corda, a motivo della pic-

colezza dell'arco; dunque il valore di f diventa $f = \frac{v^2}{r}$; cioè la forza

centrifuga nel circolo è eguale al quadrato della velocità diviso per il raggio.

Con ciò si spiega perchè con un moto rapido impresso ad un filo terminato da una massa pesante, in fine il filo si rompe, se si accresca successivamente la velocità dell'impulso: nel tempo stesso si osserva, che un corpo in libertà sfugge per la tangente mF , come si vede appunto nella fionda.

Da tutto questo possiamo dedurre, che in qualunque curva la forza centrifuga ha per misura il quadrato della velocità diviso per il raggio del circolo osculatore, perchè si può sempre supporre per un arco infinitesimo la coincidenza della traiettoria in ciascun suo punto col suo circolo osculatore nel medesimo.

Cerchiamo ora un'altra espressione della forza centrifuga, la quale

non contenga la velocità, ma in vece vi sia introdotto il tempo T di una rivoluzione intera. Combinando l'equazione $f = \frac{v^2}{r}$ con l'altra

$$2\pi r = vT, \text{ si trova } f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Quest'ultima espressione ci fa vedere, che la forza centrifuga è in ragione diretta del raggio, e in ragione inversa del quadrato del tempo impiegato per una rivoluzione intera.

Una tal'espressione ci sarà utile per la valutazione numerica della forza centrifuga in un punto qualunque della superficie della Terra.

19. Possono verificarsi per mezzo di esperienze gli effetti della forza centrifuga. Per esempio, si infilano in una bacchetta di metallo AB (§. 20. *t.* I) alcune palle d'avorio, quindi si fa girare con forza l'apparecchio sopra un pernio CD , e si vede 1° che una palla situata nel mezzo, vi resta in riposo, non ostante la rapidità della rotazione: in fatti se questa palla è esattamente nel centro, poichè le sue parti vengono spinte in senso contrario, le loro azioni debbon distruggersi; 2° che una palla posta fuori del centro striscia lungo la bacchetta, e va ad urtare l'estremità di essa.

Una simile esperienza può farsi con i liquidi (§. 17 *t.* I). ABC rappresenta un tubo di vetro piegato ad angolo, pieno in parte di liquido, il quale dalla forza centrifuga è spinto verso le estremità A e C . Inoltre, se vi si introducono corpi di densità diversa, come acqua, olio d'oliva, palle di piombo e di sughero, i corpi più pesanti saliranno ai punti più alti del tubo.

20. La Terra ha un moto di rotazione sul suo asse; e i corpi situati sulla sua superficie partecipano di questo moto. Secondo l'ultima espressione (§. 18) la forza centrifuga, in tempi eguali, è proporzionale al raggio del circolo, ec: da ciò risulta che all'equatore, ove il raggio terrestre è il massimo, la forza centrifuga è la più considerevole, e i corpi devono avere una gravità minore, il che vien confermato dall'osservazione.

Vediamo il rapporto fra la forza centrifuga e la gravità all'equatore. In questo punto il raggio della Terra è 6376464 metri: il tempo d'una rivoluzione intera del globo è di 86164 secondi. Sostituendo questi valori e il valore di $\pi = 3,14159$, rapporto della circonferenza al diametro, abbiamo $f = 0,0339$. Ora la velocità dedotta dalle osservazioni sulla gravità è 9,78: è dunque chiaro che questa non è che la differenza fra la gravità reale e la forza centrifuga. Aggiungendo pertanto a questo numero 9,78 il valore della forza centrifuga 0,0339, si ha 9,8139 gravità totale, che divisa per 0,0339 dà 289; dal che risulta che all'equatore la forza centrifuga è $\frac{1}{289}$ della gravità. Abbiamo veduto che la forza centrifuga cresce come il quadrato della velocità: quindi poichè 289 è il quadrato di 17, se il moto di

rotazione della Terra divenisse 17 volte più rapido, la forza centrifuga sarebbe 289 volte più considerevole, sarebbe eguale alla gravità, e i corpi all'equatore sarebbero senza peso. La forza centrifuga combatte la gravità in tutti i punti della superficie della Terra, ma scema dall'equatore ai poli, in parte perchè il raggio del circolo descritto diviene minore, e in parte perchè la forza centrifuga diviene sempre più obliqua alla direzione della gravità, che è sempre perpendicolare alla superficie della Terra (A).

In generale si attribuisce all'azione della forza centrifuga la forma della Terra e degli altri corpi celesti, i quali tutti sono come essa rigonfi verso l'equatore, e schiacciati verso i loro poli (1). Ciò fa supporre che questi diversi corpi sieno stati in principio fluidi, o in uno stato di gran mollezza; e la forza centrifuga, esercitandosi con maggiore energia all'equatore, ha dovuto determinarvi l'accumulazione di una maggior quantità di materia. Questo fenomeno si rende sensibile per mezzo di un semplicissimo apparecchio (f. 12 t. I). Questo consiste in una molla circolare di acciaio, forata da un diametro HK. Si imprime un moto di rotazione all'asse, e allora il circolo di acciaio trasportato nel medesimo senso, si gonfia all'equatore e si schiaccia ai poli I e K, e ciò tanto più quanto più energica è la velocità di rotazione.

In un'altra maniera ancora può verificarsi il fenomeno. Si prenda una trottola rigonfia verso il suo mezzo, e nel momento in cui si mette in moto se ne bagni tutta la superficie, e si vedrà che l'acqua sarà totalmente sparita sulla parte rigonfiata, mentre presso alle estremità ne resta una gran quantità; e può scorgersi ancora con l'occhio la proiezione che la trottola fa dell'acqua.

Del Pendolo.

21. La teoria del pendolo è appoggiata alle cognizioni che abbiamo premesse sulla gravità e sul moto curvilineo.

Un pendolo semplice consiste in un punto materiale, sospeso per un filo riguardato come non pesante (f. 19 t. I).

Questo caso ideale non si realizza in pratica; poichè la verga del pendolo che ordinariamente è metallica, è di un peso che non può

(A) Se g esprime la gravità alla latitudine di 45° , ed l la latitudine d'un luogo, l'intensità g' della gravità in questo luogo sarà $g' = g(1 - 0,00284 \cos. 2l)$.

(1) Misurato un arco da Dunkerque a Formentera, fu trovato $12^\circ 22' 14''$: ma dalla catena dei Triangoli si sapeva che la distanza fra questi due paesi è 1374438,72 metri; dunque dividendo si ha l'estensione d'un grado, che è quella che si chiama *grado del meridiano*. Ora se la Terra fosse sferica, tutti i gradi sarebbero eguali: ma al contrario si trova che essi sono diseguali; dunque si concluderà che la Terra non è sferica, e che è schiacciata ai poli.

trascurarsi, ma per mezzo del calcolo si riducono facilmente al pendolo semplice i risultamenti di un pendolo composto (A).

Comunque sia, il moto del pendolo semplice o composto è determinato dall'azione della terra. Se per esempio la massa pesante venga portata in D, ivi sarà sollecitata dalla gravità; ma poichè questa forza agisce per la verticale Dd, perderà una porzione della sua intensità. Per conoscere questa perdita, bisogna decomporre la forza g in due altre forze rettangolari, nelle direzioni Dh, DF, la prima è distrutta dalla resistenza della verga DC; la seconda mf perpendicolare a CD, ha per valore l'espressione $g \cos dDF = g \sin hDd$. Questa componente tende a far muovere la massa m nel senso della tangente DF; ma poichè la massa è trattenuta dal punto di sospensione C, la curva descritta sarà un arco di circolo.

Si vede inoltre che l'azione della gravità non contribuisce nulla al moto della massa m , quando questa è arrivata al punto più basso; sicchè essa non si muoverà che in virtù della velocità acquistata nel cadere per l'arco DA; e da quanto dicemmo in altro luogo (§. 15) risulta, che questa velocità è capace di farle percorrere un arco eguale al primo. Salirà essa dunque fino in B, ove la sua velocità acquistata resta totalmente distrutta: allora, abbandonata all'azione della gravità, ricadrà lungo BA; in A la gravità sarà distrutta da la resistenza del filo, il moto continuerà per la velocità acquistata, ec. Il pendolo dunque proseguirà così ad oscillare, finchè per effetto della resistenza dell'aria e dell'attrito, non abbia perduto tutto il suo moto.

Il moto della caduta del pendolo è accelerato, ma l'accelerazione non è uniforme, perchè la componente g seu DCA scema ad ogni momento fino al punto più basso, nel quale divien nulla. Col calcolo si dimostra che nel circolo le piccole oscillazioni sono sensibilmente isocrone; ma l'isocronismo non è rigoroso se non per un punto materiale che si muova sopra una cicloide.

22. Il pendolo di cui si fa uso per le ricerche fisiche differisce pochissimo dal pendolo semplice. Esso è formato d'una gran palla di platino, sospesa ad un filo di rame di tal grossezza che basti solo a

(A) Ecco la formola. Se l è la lunghezza del pendolo semplice corrispondente a un pendolo composto, sarà $l = \frac{d^2 + m^2}{m}$; dove d esprime la distanza del centro di gravità del pendolo composto dal centro di sospensione; m rappresenta il momento d'inerzia (1) della massa di questo pendolo, riferita ad un asse parallelo all'asse di sospensione, e che passa per il centro di gravità, tutto diviso per la massa totale.

(1) Per momento d'inerzia s'intende la somma dei prodotti delle molecole di un corpo per i quadrati delle loro distanze da un asse di data situazione.

sostenerla, e incassata in una calotta fissata all'estremità del filo, sol che si osservi di spalmare l'interna superficie di questa calotta con una materia grassa, per escluder l'aria che può restare fra essa e la sfera, e rendere così più perfetta l'adesione. L'estremità superiore del filo è fissata sopra una verga d'acciaio temperato, fatta a forma di coltello, posata sopra un piano d'agata; sicchè l'attrito è quasi insensibile. Tale a un dipresso era il pendolo immaginato dal sig. Borda (f. 18. t. I).

Le oscillazioni di un pendolo divengono successivamente sempre minori, sicchè in fine il pendolo si trova in riposo. Tal distruzione della velocità del pendolo è particolarmente prodotta dalla resistenza dell'aria, la quale rende più lunga la semioscillazione discendente, e più corta l'ascendente (*), quasi di egual quantità; e quindi la durata d'un'oscillazione intera nell'aria, differisce pochissimo da quella che avrebbe luogo nel voto. Ma poichè le oscillazioni del pendolo divengono successivamente più deboli, e poichè il tempo dipende dalla grandezza dell'arco percorso, ne risulta che l'isocronismo è alterato; ma ben poco sensibile è questa alterazione, e può anco calcolarsi.

Applicazione del Pendolo alla Gravità.

23. Abbiamo già veduto, che le oscillazioni del pendolo sono determinate dall'azione della gravità: dunque debbon essere più o meno rapide, secondo che più o meno potente è questa azione. È chiaro che tale intensità può dedursi dal numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo da un pendolo di data lunghezza. Infatti l'analisi

dà $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, dove T è il tempo di un'oscillazione infinitesima; l

la lunghezza del pendolo; g l'intensità della gravità, o il doppio dello spazio percorso da un corpo nel primo minuto secondo della sua caduta, π il rapporto della circonferenza al diametro: e poichè la lunghezza e la durata son due elementi che si misurano con la massima esattezza, così nel pendolo abbiamo un mezzo rigoroso per calcolare l'intensità della gravità. Se in questa formola si sostituisca la vera lunghezza di un pendolo che batta i secondi in un luogo dato, per esempio a Parigi, la quale in tal caso sarebbe $0^m 9938$, il valore costante di $\pi = 3,14159$, e $T = 1$, si avrà $g = 9,80879$.

Dalla precedente formola si rileva. 1° Che i tempi delle oscillazioni sono come le radici quadrate delle lunghezze dei pendoli, e in ragione inversa delle radici quadrate delle intensità della gravità.

(*) Il signor Bouguer fu il primo che osservò che la durata d'una oscillazione intera è la stessa nel voto e in un mezzo resistente. In seguito il sig. Poisson sottopose all'analisi tal questione (*V. Journ. de l'Ec. polyt. c. 15*).

2.° Che per due pendoli di diversa lunghezza, e soggetti all'azione della gravità nello stesso luogo, le durate delle oscillazioni sono proporzionali alle radici quadrate delle lunghezze;

3.° Che se il pendolo si trasporti in luoghi diversi, le durate delle oscillazioni sono in ragione inversa delle radici quadrate delle intensità della gravità in questi luoghi;

4.° Che i quadrati dei numeri d'oscillazioni fatte dallo stesso pendolo o da due pendoli d'egual lunghezza, nello stesso tempo, in luoghi diversi, son proporzionali alle intensità della gravità.

24. L'intensità della gravità diviene tanto più debòle, quanto è maggiore la distanza dalla superficie della Terra. Infatti il Bouguer ha osservato, che prendendo per unità la lunghezza del pendolo a secondi all'equatore e al livello del mare, questa lunghezza doveva ridursi a $0^m,9992$ a Quito alto 2857 metri; sul Pichincha alto 4744 metri a $0^m,9988$; ed in tutti e tre i luoghi le intensità della gravità sono come le lunghezze del pendolo (A).

25. Per mezzo del pendolo possiamo ancora assicurarci della variazione della gravità a diverse letitudini del Globo. Il sig. Richer riconobbe una tal variazione nel 1672. Vide che un orologio, il quale era stato regolato a Parigi sul tempo medio, a Caienna ritardava ogni giorno d'una quantità costante; e da ciò concluse che l'intensità della gravità ivi era minore. La stessa osservazione fece il medesimo Bouguer a S. Domingo, a Quite, ec.; ed è stata poi confermata da un gran numero di viaggiatori; sicchè è ormai noto, che quanto più cresce la distanza dall'equatore, tanto più lungo deve essere il pendolo perchè faccia oscillazioni della stessa durata. La gravità cresce dunque dall'equatore ai poli; infatti, poichè si allunga il pendolo, le oscillazioni diverrebbero più lente se restasse la stessa la sua intensità. La tavola seguente dà un'idea di questa variazione (B).

(A) Facendo $T=1$ nella formula $T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, si ha $1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ Parimente $1=\pi\sqrt{\frac{l'}{g'}}$, quindi $l:g::l':g'$.

(B) L'intensità della gravità si trova con la formola

$T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; T è eguale a 1, π ed l son noti in numeri, e quindi si deduce g .

LATITUDINI		LUNGHEZZA DEL PENDOLO
Equatore	0°	0 ^m , 990925.
	20°	0 , 991528
Parigi	48° 50' 14"	0 , 993846
	60°	0 , 994791
	80°	0 , 995924

Per mezzo di osservazioni di questo genere è stato provato che il valore assoluto della gravità cresce di $\frac{1}{2}$, dall'equatore ai poli, il qual numero è maggiore di $\frac{1}{2}$, che noi trovammo esaminando l'influenza della forza centrifuga sull'intensità della gravità. Questo fatto il quale risulta da molte osservazioni prova dunque evidentemente, che il diametro della Terra all'equatore è più lungo che ai poli (A). Così due cause tendono ad indebolire l'azione della gravità all'equatore, cioè una maggior forza centrifuga, e un maggiore allontanamento dal centro del globo (B).

26. L'esperienza ci fa vedere ancora, che qualunque sia la materia del pendolo, purchè resti costante la lunghezza, il tempo delle oscillazioni è lo stesso; la qual cosa conferma che tutti i corpi sono egualmente sollecitati dalla gravità, come già dimostrammo con esperienze dirette (§. 11). (Si vegga alla fine dell'opera la nota sul calcolo dello schiacciamento della terra mediante le esperienze del pendolo, e sulla misura della lunghezza del pendolo a secondi).

27. *L'intensità della gravità scema nell'interno della Terra.* Infatti sia un punto *m* (f. 5 t. I): questo punto sarà attratto verso la superficie dalla materia situata al di sopra di esso, e verso il centro dalla materia situata al di sotto: dunque l'intensità deve andare scemando dalla superficie, dove è massima, fino al centro, dove è nulla; e questa variazione procede in ragione diretta della distanza dal centro, come si dimostra col calcolo.

Bisogna primieramente provare che un punto situato nell'interno d'un inviluppo, la materia del quale opera in proporzione della massa e in ragione inversa del quadrato della distanza, resta in equilibrio. Sia un punto *m* (f. 4 t. I): per questo punto conduciamo due linee *ac*, *bd* che intercettino sull'inviluppo due corde picciolissime: se ci figuriamo due elementi che abbiano queste corde per diametri, essi saranno fra loro come i quadrati di questi diametri; e le loro azio-

(A) All'equatore è 12753968 metri, e ai poli è 12712648.

(B) La forma della Terra dedotta dall'esperienze fatte col pendolo è stata trovata quasi eguale a quella che si deduce dalle misure trigonometriche; se non che un poco minore è lo schiacciamento che da queste si rileva.

ni sul punto m saranno $\frac{ab^2}{mp^2}$ e $\frac{dc^2}{ln^2}$. Se si rappresenti con uno l'intensità all'unità di distanza, è facile il dimostrare che queste due azioni sono eguali; quindi il punto resta in equilibrio.

Supponiamo ora il punto m in una sfera piena. Se descriviamo una sfera concentrica alla prima e che passi per questo punto, essa opererà come se tutta la materia fosse riunita nel suo centro. L'attrazione di questa sfera sul punto m sarà proporzionale alla massa $\frac{4\pi r^3}{3}$, e in ragione inversa del quadrato della distanza r : quindi sarà espressa da $\frac{4\pi r^3}{3r^2} = \frac{4\pi r}{3}$.

Applicazione del pendolo agli orologi.

28. Galileo, verso il 1602, fu il primo ad osservare, che i piccoli archi di un pendolo sono sensibilmente percorsi in tempi eguali. Questa scoperta gli fece concepire l'utile idea di applicare questa regolarità alle osservazioni astronomiche e fisiche; ma il sig. Huygens fu il primo che l'applicò agli orologi.

Si sa che un orologio è formato dalla riunione di molte ruote che s'incastano le une nelle altre; e i denti di esse sono in numero proporzionale alle divisioni adottate per la misura del tempo. Sono poi disposte in maniera, che quando una è messa in moto, tutte le altre pure si muovono. Intorno ad uno degli assi si avvolge una corda, alla quale è attaccato un peso che serve a far girare tutte le ruote (f. 27. t. 1.), e che le farebbe girare troppo precipitosamente, se non venisse regolato il corso per mezzo d'un pendolo.

La ruota alla quale è attaccato il pendolo, nell'arte di fare orologi, si chiama ruota di riscontro. Questa è tagliata diversamente dalle altre, in modo che il suo moto possa esser diretto da due palette o ale fissate al pendolo moderatore. La fig. 25 rappresenta l'apparecchio: CD è lo scappamento; e dalla figura stessa si vede, che quando il pendolo è in una situazione verticale e in riposo, le due estremità C e D dello scappamento si interpongono fra i denti della ruota, e fermano il moto. Ma se si allontana il pendolo dalla verticale, anco di una minima quantità, la ruota divenuta libera, obbedisce all'azione del peso che la fa girare, finchè il pendolo la trattiene con l'interposizione dello scappamento. In un apparecchio ben disposto, questo accade quando il pendolo è nel punto più basso. Il pendolo pure si fermerebbe, se la celerità acquistata non gli facesse percorrere un arco eguale a quello che ha già percorso: dunque si allontana di nuovo, il peso fa di nuovo girare la ruota, e così di seguito. Si vede chia-

ramente, che senza il pendolo il moto del peso sarebbe accelerato, come quello di tutti i corpi sottoposti all'azione della gravità; ma il pendolo col suo scappamento lo rimette continuamente in istato di riposo; dimanierachè non ha mai altra velocità, che quella impressagli dalla gravità nel piccolo intervallo d'una mezza oscillazione. Per tal disposizione si concepisce egualmente come il pendolo, non ostante l'attrito e la resistenza dell'aria, continua il suo moto, poichè l'azione del peso, ad ogni oscillazione, gli rende la velocità che ha perduta. La lunghezza del pendolo è tale, che il tempo d'un'oscillazione è un secondo. Questo strumento però non sarebbe perfettamente regolare, se l'asta non restasse sempre della stessa lunghezza, non ostante la variazione continua della temperatura presso alla superficie della terra; il che si ottiene con mezzi ingegnosi immaginati dagli artisti, e dai dotti, e che indicheremo nell'Articolo delle dilatazioni.

Dell'equilibrio prodotto dalla composizione di più forze applicate ad uno stesso punto materiale o a più punti materiali connessi fra loro invariabilmente: del centro delle forze parallele: del centro di gravità; delle coppie (couples).

29. L'azione di molte forze che agiscono insieme sopra uno o più punti materiali presenta due casi che è necessario considerare. Può accadere che queste forze comunichino un moto al sistema, o che distruggendosi fra loro lascino il corpo in riposo. Questo riposo, prodotto dalla compensazione di più forze, si chiama *equilibrio*.

Due forze eguali applicate in direzioni opposte in un medesimo punto materiale presentano il caso più semplice d'equilibrio. Se le due forze sono diseguali, il punto materiale si muoverà nel senso della più energica, come se fosse sollecitato da una forza eguale alla differenza di quelle.

Il caso dell'opposizione diretta è il solo in cui sia possibile l'equilibrio fra due forze eguali. Se le loro direzioni fanno un certo angolo, i loro sforzi cospirano in parte, e il punto materiale è sollecitato da una sola forza, la direzione e l'intensità della quale son determinate con la regola del parallelogrammo delle forze (§. 16.).

La risultante di due forze ha una proprietà singolare e importantissima a conoscersi. Le linee CD, CE (f. 9. t. I) abbassate da un punto qualunque della risultante AB, perpendicolarmente sulle direzioni delle due componenti AD, AE, hanno una lunghezza che è in ragione inversa dell'intensità delle forze verso le quali si dirigono. Per es. se le forze p, q , sono rappresentate dai numeri 4, 5, le perpendicolari CD, CE saranno come 5: 4; e in generale si ha la proporzione $p:q::CE:CD$; quindi $p \times DC = q \times CE$. Si chiama *momento statico* di una forza, relativamente ad un punto C, il prodotto di questa forza per la lunghezza della perpendicolare abbassata da questo punto sulla sua direzione.

Il caso però di un sol punto materiale è un caso astratto, ma giova nondimeno l'osservarlo per giugnere ai casi più composti che i corpi presentano. Non v'è alcun corpo le diverse parti del quale sieno collegate fra loro in un modo invariabile, ma per la rigidità che è propria dei corpi nello stato di solidità, le loro parti si trasmettono scambievolmente l'impressione delle forze che sollecitano alcune di esse. In quanto ai liquidi, l'impenetrabilità delle parti che sono a contatto regola la repartizione delle forze che ad esse vengono applicate.

Per es. sieno due forze p, q situate (*f. 26. t. I*) in uno stesso piano, e applicate nei punti a, a' d'un corpo solido. Per aver la loro risultante bisogna considerare che il punto d'applicazione d'una forza può esser trasportato in un punto qualunque della sua direzione, purchè questo punto sia connesso col primo per mezzo di una linea inflessibile. Ora le due forze, poichè per supposizione sono nello stesso piano, s'incontreranno in un punto c ; e però per avere l'intensità e la direzione della risultante, basterà costruire sulle direzioni $ac, a'c$ un parallelogrammo.

Se le due forze son parallele, la soluzione del problema è la stessa perchè questa regola di statica è indipendente dall'angolo che fanno le direzioni delle due forze, e quindi ha luogo anco quando l'angolo è nullo. Parimente dicemmo di sopra, che le lunghezze delle perpendicolari CD, CE (*f. 9. t. I*) abbassate da un punto della risultante AB sulle direzioni delle componenti p, q , sono in ragione inversa di queste; ed è lo stesso il rapporto per le forze parallele (*f. 33 t. I*). Per avere il punto c d'applicazione della risultante, bisognerà dividere aa' in due parti reciprocamente proporzionali alle intensità delle forze p, q ; e la risultante r sarà eguale alla loro somma; e quindi per stabilir l'equilibrio, basterà applicare nel punto c una forza r' eguale, ma diretta in senso contrario.

Se le due forze son dirette in senso contrario (*f. 34 t. I*), la risultante sarà eguale alla lor differenza, agirà nel senso della più energica, e il suo punto d'applicazione sarà fuori dei punti d'applicazione delle componenti. Si osservi che qui si considerano le due forze diverse in intensità e nello stesso piano; mentre se fossero eguali o se agissero in piani diversi non avrebbe luogo una risultante, e in questi due casi bisognerebbe distruggere ciascuna forza separatamente.

Ora che sappiamo trovar la risultante di due forze, nei casi possibili, siamo in grado di comporre un numero qualunque di forze. Se tutte le forze son parallele e dirette nel medesimo senso, primieramente si comporranno due forze, quindi la risultante di queste con un'altra, e così di seguito; e la risultante finale sarà parallela alla direzione comune. Se le forze agiscono parte in un senso e parte in un altro, si cercherà la risultante particolare delle une e delle altre, e le due risultanti sarauno eguali o disuguali: nel primo caso non vi sarà risultante, e nel secondo la risultante sarà eguale alla

loro differenza. Il punto d'applicazione di essa si troverà con la solita regola indicata di sopra; e applicandovi una forza eguale e diretta in senso opposto, il sistema sarà mantenuto in equilibrio.

30. Per far comprendere cosa si intenda per *centro di gravità*, diciamo qualche cosa del *centro delle forze parallele*. Sia pertanto determinato il punto A d'applicazione della risultante di un certo numero di forze parallele (f. 35 t. I). Se tutte le forze senza cambiare d'intensità e senza cessare d'esser *parallele* prendono tutte insieme un'altra direzione, la loro risultante resterà della stessa grandezza, e solamente cambierà di direzione, e passerà a traverso del corpo in una direzione diversa. In Statica si dimostra che tutte le risultanti determinate in tal modo concorrono in un sol punto A, che si chiama *centro delle forze parallele*. Ora è chiaro che se si fissa questo punto, l'equilibrio sarà stabilito, qualunque sia la direzione delle forze.

Applichiamo questi risultamenti ai gravi. La gravità agisce perpendicolarmente alla superficie della Terra: un corpo dunque è sollecitato da un numero infinito di forze parallele fra loro e perpendicolari al luogo d'osservazione; e quindi gli sforzi parziali della gravità di tutte le particelle compongono una somma, di cui la risultante è il *peso* di questo corpo; la qual risultante, qualunque sia la situazione del corpo secondo ciò che abbiamo detto, dovrà passare per un punto unico; e questo punto unico è il *centro di gravità* del corpo (1).

Se questo punto è fisso, si potrà far girare il corpo intorno ad esso, senza che sia rotto l'equilibrio. Sussisterà pure l'equilibrio quando il punto fisso si troverà sulla retta verticale che passa per il centro di gravità del corpo.

Si comprende egualmente, che un filo (f. 24 t. I) all'estremità del quale è fissato un corpo, resterà verticale nel caso d'equilibrio, e che il suo prolungamento passerà per il centro di gravità del corpo. Questo piccolo apparecchio si chiama *filo a piombo*, e serve, come è noto, a moltissimi usi, come ad assicurarsi della verticale di un muro, a determinare il centro di gravità d'un corpo, ec. Per determinar questo centro, si sospende successivamente il corpo per due punti diversi; ed è chiaro che il centro stesso deve trovarsi sul prolungamento del filo di

(1) Ecco come Galileo nella sua *Scienza meccanica* definisce il centro di gravità. « Esso è in ogni corpo grave quel punto, intorno al quale consistono » parti di eguali momenti; sicchè immaginandosi tal grave essere dal detto » punto sospeso, le parti destre equilibreranno le sinistre, le anteriori le posteriori, e quelle di sopra quelle di sotto; sicchè in qualsivoglia sito e disposizione, purchè sospeso dal detto centro, rimarrà saldo: e questo è quel punto » il quale si andrebbe ad unire col centro universale delle cose gravi, cioè » con quello della Terra, quando in qualche mezzo libero potesse discendervi ».

sospensione a traverso del corpo in ciascuna esperienza, poichè non può esistere equilibrio se il filo non passa per il centro di gravità; dunque si troverà nel punto di concorso di due direzioni del filo.

La situazione del centro di gravità nei corpi *omogenei*, dipende soltanto dalla loro figura. Se i corpi sono *eterogenei*, cioè tali che tutte le loro parti non sieno simili, per determinarne il centro di gravità bisogna sapere come vi è distribuita la materia. Per esempio, il centro di gravità d'un areometro si trova nella parte inferiore, perchè questo strumento in generale è essenzialmente formato di un tubo di vetro, che nella sua parte inferiore è pieno di mercurio o di piombo, sostanze molto più dense del vetro.

Il centro di gravità d'una linea retta è nel mezzo della sua lunghezza: quello d'un cilindro a basi parallele è in mezzo del suo asse: quello d'un parallelogrammo è nel punto d'intersezione delle due diagonali: quello d'un circolo e di una sfera vota o piena è nel centro. Tutto questo è evidente.

Con proposizioni molto semplici di Geometria si dimostra che il centro di gravità d'un triangolo ABC (f. 28 t. I) è nel punto G ai due terzi dell'altezza AH partendo dal vertice A. Si trova pure in un modo analogo che il centro di gravità d'una piramide triangolare è situato sulla linea che unisce il vertice col centro di gravità della base, ai tre quarti di questa linea partendo dal vertice.

Sia ABC (f. 38 t. I) un doppio cono che può girare intorno ad un punto fisso C, e il centro di gravità del quale è in G. Nella situazione ABC in cui il centro di gravità è al di sopra del punto fisso, l'equilibrio si dice *instabile*, perchè il cono ribalta, per poco che venga allontanato dalla sua situazione, e non vi torna più. Nella situazione A'B'C l'equilibrio è detto *stabile*, perchè il cono slontanato da una parte o dall'altra, tende sempre a tornare alla situazione primitiva. Ciò accade in tutti i corpi.

Del resto, la dottrina del centro di gravità appartiene alla Statica, e noi ne diamo qui soltanto un'idea, perchè ci sarà utile in seguito. Per ora citiamo alcune semplici conseguenze. Un corpo solido posato sopra un piano orizzontale è in equilibrio, se la verticale che passa per il suo centro di gravità incontra il piano in uno di quei punti sui quali posa il corpo, o nello spazio compreso fra questi punti. Un uomo si regge ritto, finchè la verticale che passa per il suo centro di gravità, cade nello spazio quadrangolare compreso nel contorno esterno dei suoi piedi; e con tutti i moti che egli fa quando è vicino a cadere, tende a rimettersi in tal situazione. L'arte del ballerino da corda, la maniera di assicurare la stabilità dei grandi carriaggi ec, si riferiscono pure alla teoria del centro di gravità.

31. Due forze eguali parallele ed opposte formano ciò che si chiama *coppia* (*couple*). La f. 29 t. I ne presenta un esempio: non esiste equilibrio fra le forze HB e H'B' quantunque sieno eguali ed opposte, perchè esse tendono a far girare la linea BB' finchè tutto sia nella situazione HB B'H' (f. 30 t. I).

Di alcune macchine semplici.

32. Abbiamo già data la definizione della quiete, del moto assoluto e relativo, e spiegato cosa si intenda per risultante di molte forze. Passiamo ora alle particolarità relative alle macchine.

In generale si chiama macchina uno strumento adattato a trasmettere l'azione di una o più forze. La forza che si adopra è la *potenza*; e la forza che si vuol vincere, o a cui si vuol solamente fare equilibrio, è la *resistenza*. La potenza e la resistenza non sono però opposte l'una all'altra direttamente, poichè allora non sarebbe possibile l'equilibrio, se non nel caso dell'eguaglianza delle due forze. Lo sforzo della resistenza si decompone in modo, che uno o più punti fissi possano sopportare una porzione della sua energia; e con tal disposizione si ottiene che forze disegualissime possono farsi equilibrio fra loro, come vedremo a suo luogo.

Vi sono alcune macchine che servono di elementi per altre macchine. Diamone alcune nozioni elementari, per quanto lo richiede lo scopo che ci siamo prefissi. Le principali sono: la leva, il piano inclinato, la puleggia, la vite, il cuneo, e l'argano.

Della Leva.

35. Una verga *men* (f. 31 t. I) inflessibile, e sostenuta da un punto fisso *c*, forma ciò che si chiama *leva* (1). Il punto fisso *c* si chiama *ipomoclio* o *punto d'appoggio*. Si vede chiaramente che le forze diseguali *p*, *r* applicate alle estremità *m*, *n* posson farsi equilibrio. Se la leva è diritta (f. 31 t. I) e se le due forze *p*, *r* son parallele, le distanze *mc* e *cn* comprese fra il punto d'appoggio e il punto d'applicazione di ciascuna forza si chiamano i bracci della leva di queste forze.

La potenza sia rappresentata da *p*, la resistenza da *r*: perchè vi sia equilibrio, bisogna e basta che la risultante delle due forze passi per il punto d'appoggio *c*; e a tale effetto si dimostra che deve avervi $p : r :: cn : cm$; cioè che nel caso d'equilibrio della leva, la potenza e la resistenza sono in ragione inversa dei bracci della leva, o delle loro distanze dal punto d'appoggio. Da ciò risulta, che per mezzo della leva una debole forza può fare equilibrio ad una forza molto considerevole, e anco vincerla.



(1) O meglio, la leva è una verga inflessibile di qualunque forma, talmente fissata in uno de' suoi punti *c*, che per qualunque azione di forze le venga applicata, essa non possa prendere altro moto che un moto di *rotazione*, cioè un moto per girare intorno a *c*.

Il peso sostenuto dal punto d'appoggio è espresso dalla risultante delle forze p e q ; e nel caso della *f. 31 t. I* è eguale alla loro somma: e se le due forze fossero dirette in senso contrario (*f. 36 t. I*), la risultante sarebbe eguale alla lor differenza.

Si distinguono tre generi di leva: leva di *primo genere* si dice quando il punto d'appoggio è fra i punti d'applicazione delle forze (*f. 31 t. I*); leva di *secondo genere*, quando la resistenza è fra il punto d'appoggio e la potenza (*f. 21 t. I*); leva di *terzo genere*, quando la potenza è fra il punto d'appoggio e la resistenza (*f. 22 t. I*).

La *bilancia* (*f. 37 t. I*) è una leva di primo genere. La bilancia ordinaria deve avere i suoi due bracci di leva eguali, perchè due pesi che si fanno equilibrio sieno eguali. Questa condizione fortunatamente non è necessaria nelle bilance destinate alle ricerche, giacchè sarebbe impossibile ottenerla con molta esattezza.

Il metodo dei doppi pesi è totalmente indipendente dalla disegualianza dei bracci della bilancia. Questo consiste nel collocare in un piatto della medesima il corpo di cui vuol sapersi il peso, e stabilirne l'equilibrio con munizione o con qualunque altra materia. Ottenuto questo equilibrio, si sostituiscono al corpo pesi noti, fino a riottenere l'equilibrio di nuovo; e questi pesi indicano il vero peso del corpo, perchè al par di questo fanno equilibrio ad un'egual massa di materia. Faremo vedere altrove con l'esperienza come si può tener conto di tutte le cause per le quali uno stesso corpo pesato in diversi tempi, sulla stessa bilancia, non comparisce di egual peso (1).

(1) È utile conoscere le principali condizioni che rendono giusta e perfetta una bilancia qualunque. Bisogna 1.º che le due braccia AC, CB dell'asta sieno perfettamente eguali in lunghezza e in peso: eguali pure in peso e in lunghezza debbono essere i fili o catenelle che sostengono i bacini, ed eguali pure i bacini stessi. Si avverta inoltre che il *flagello* o l'asta sia di natura eguale in tutta la sua massa, affinchè sia uniformemente sensibile alle dilatazioni o contrazioni dipendenti dai cambiamenti di temperatura dell'aria: 2.º che i punti di sospensione dei bacini sieno esattamente sulla stessa linea col centro di gravità dell'asta, e sieno egualmente distanti da esso: 3.º che l'asta sia fatta un poco a forma di coltello, affinchè sia più difficile a piegarsi sotto lo sforzo dei pesi che deve sostenere, e affinchè il punto d'appoggio sia più resistente: 4.º che il centro di gravità dell'asta sia un poco sotto il centro di moto, perchè instabile troppo sarebbe il suo equilibrio.

Quando manca qualcuna di queste condizioni, la bilancia si dice *falsa*. Ma ancora con una bilancia falsa può ottenersi il vero peso d'un corpo. Si ponga nel bacino A il corpo da pesarsi, che chiameremo r , e nel bacino B il peso che gli fa equilibrio, e che chiameremo p . Per la nota legge d'equilibrio (§. 33)

La *f. 37 t.* I rappresenta un modello della bilancia del sig. Fortin della quale si fa grande uso nelle ricerche fisico-chimiche. La leva o flagello AB è d'acciaio temperato, e abbastanza consistente da non piegarsi sensibilmente per lo sforzo dei pesi che deve sostenere. Le due porzioni AC, BC al di qua e al di là del punto C, centro di gravità del flagello, devon essere egualissime. Il punto C di sospensione è un poco sopra il centro di gravità, dimanierachè il flagello tende sempre a tornare nella situazione più stabile. Perchè il flagello sia molto mobile, si fa il pezzo C di sospensione in forma di coltello, e di acciaio ben temperato, e si fa posare sopra un piano parimente d'acciaio tirato a pulimento. Per vedere anco i minimi moti del flagello si fissa un ago CK perpendicolare ad AB, il quale nel caso d'equilibrio corrisponde con la sua estremità allo zero di un arco di circolo segnato in K.

Per ottenere pesi esatti, bisogna osservare due cose. La prima è di render la bilancia molto sensibile, il che si ottiene facendo molto acuto il taglio del coltello di sospensione, e riducendo al maggior possibile pulimento il piano d'acciaio sul quale riposa: inoltre, affinchè il coltello e il piano d'acciaio non si alterino per effetto della continua pressione, si dispongono sotto le braccia della leva F, F', le quali negli intervalli delle esperienze le sostengono in modo da impedire qualunque specie di attrito: esse si alzano e si abbassano per mezzo di una leva ILL. La seconda è, che i punti di sospensione S, S' sieno rigorosamente gli stessi nelle due operazioni del doppio peso, giacchè la forza necessaria per far equilibrio ad una resistenza è tanto più debole, quanto più lungo è il braccio della leva a cui si applica. E siccome non vi è nulla che nell'operazione ci avverta dello spostamento dei punti di sospensione, il che porterebbe a gravi errori, così, per evitare un tale inconveniente, l'artista ha disposto le cose in modo, che la sospensione si fa per mezzo di coltelli incrociati d'acciaio durissimo (*f. 32 t. I*).

avremo $p : r :: AC : CB$, ossia $\frac{p}{r} = \frac{AC}{CB}$, si trasporti quindi il corpo nel bacino

B, e nel bacino A si metta il contrappeso, il quale sia p' diverso da p nella sup-

posizione della bilancia falsa. Avremo $r : p' :: AC : BC$, ossia $\frac{r}{p'} = \frac{AC}{CB}$; dun-

que $\frac{p}{r} = \frac{r}{p'}$; di qui si ha $r = \sqrt{pp'}$ vero peso del corpo sperimentato.

Del piano inclinato

34. Cosa sia il piano inclinato, l'abbiamo già detto nell'articolo delle leggi di gravità (f. 2 e 14 t. I).

Un grave, se è libero, non può sostenersi se non con una forza eguale al suo peso; ma sopra un piano inclinato, una forza minore basterà.

Sia un corpo HK posto sul piano inclinato CB (f. 1 t. II). Per il suo centro di gravità G, si conduca la verticale GR: questa rappresenterà lo sforzo della gravità applicata in questo punto e che chiameremo R. Scomponiamo, secondo la regola del parallelogrammo delle forze, questa risultante in due altre forze, una GD parallela, l'altra GF perpendicolare al piano: questa sarà distrutta dalla resistenza del piano stesso, e resterà solo la prima che chiameremo P, la quale agirà sola per fare strisciare il corpo, e sarà alla risultante nel rapporto di GD a GR; oppure come l'altezza AC alla lunghezza CB del Piano per la similitudine dei triangoli GDR, ACB, cioè si avrà $P = \frac{R \cdot AC}{CB}$.

Tale è il rapporto che deve esistere fra la potenza applicata nella direzione BC e il peso del corpo, per impedire che questo strisci lungo il piano. Per una forza orizzontale sarebbe $P = R \cdot \frac{AC}{AB}$.

Con un piano inclinato adunque si può far muovere un peso molto considerevole per mezzo d'una forza molto minore; e però spesso viene impiegato nelle Arti.

Della Vite

35. Per definire convenientemente la vite, bisogna spiegare ciò che si intende per *elice*. Si sviluppa il cilindro retto ABCD (f. 23 t. I) secondo il rettangolo ABCD, e si divide l'altezza in un certo numero di parti eguali; quindi si conducono le diagonali Ag, bc, de, fc. Avvolgendo ora questo rettangolo sul cilindro, le diagonali genereranno una curva continua, la quale appunto è quella che si chiama *elice*. È chiaro che questa curva è in ogni punto egualmente inclinata all'orizzonte, poichè le linee Ag, bc, ec. sono parallele. L'intervallo ap è il *passo* dell'*elice*.

Ciò premesso, la vite è una linea saliente applicata sopra un cilindro, e generata da un triangolo, da un parallelogrammo o da qualunque altra figura, che appoggiandosi con la base sopra una generatrice gira intorno all'asse del cilindro scendendo lungo l'*elice*. Nel moto ogni punto del triangolo descriverà un'*elice* che avrà il medesimo passo dell'*elice* primitiva; e questo sarà pure il passo della vite. La generazione della *chiocciola* è la stessa.

Consideriamo primieramente un sol punto a situato sopra un'elice, e sollecitato da una forza verticale p e da una orizzontale q . Questo punto potrà riguardarsi come sopra un piano inclinato, l'altezza del quale è h ossia il passo della vite, e la base $2 \pi r$. Per ciò che abbiamo detto di sopra (§. 34) avremo $q : p :: h : 2 \pi r$. Abbiamo supposta la forza q applicata immediatamente al punto a ; ma se per questo punto noi conduciamo un raggio del cilindro, che prolungheremo, questo potrà riguardarsi come una leva inflessibile, e alla forza q verrà sostituita la forza q' , purchè sia $q' : q :: r : R$. Ma si ha $q : p :: h : 2 \pi r$, dunque moltiplicando per ordine queste due proporzioni avremo $q' : p :: h : 2 \pi R$.

Venendo dunque eliminato il raggio del cilindro, la condizione è la stessa per tutte le elici che hanno il medesimo passo, qualunque sia il cilindro sul quale esse sono descritte. Dopo ciò è facile conoscere la legge d'equilibrio della vite. Supponiamo la chiocciola sollecitata da due forze, una verticale P , l'altra orizzontale Q . Queste forze possono scomporsi in molte altre $p, p', p'',$ e $q, q', q'',$ le quali applicate nei diversi punti di contatto li tengano in equilibrio. Avremo dunque la serie di proporzioni $q : p :: h : 2 \pi R$; $q' : p' :: h : 2 \pi R$; quindi $q + q' : p + p' :: h : 2 \pi R$, ossia $Q : P :: h : 2 \pi R$; cioè nel caso d'equilibrio *la potenza sta alla resistenza, come l'altezza del passo della vite sta alla circonferenza che la potenza tende a far descrivere al suo punto d'applicazione.*

Può essere fissa la vite e mobile la chiocciola (f. 2 t. II), oppure fissa la chiocciola e mobile la vite (f. 3 t. II).

Della Puleggia

36. La puleggia è una ruota circolare, scanalata nella sua periferia, e attraversata nel suo centro da un asse intorno al quale può girare. Se l'asse è tenuto fisso, *la puleggia si dice fissa*, e se l'asse è libero, *la puleggia si dice mobile*; e in questo caso essa può muoversi nello spazio mentre gira intorno al suo asse.

Consideriamo la puleggia fissa (f. 5 t. II). Una corda flessibile ABCD sia passata nella scanalatura della puleggia, e abbracci una porzione della sua circonferenza. Se applichiamo all'estremità A la potenza, e la resistenza all'estremità D, le forze agiranno secondo le tangenti, ed è chiaro che non vi sarà equilibrio se non nel caso di eguaglianza fra la potenza e la resistenza. La risultante di due forze passa per il centro della puleggia, ed è distrutta dalla resistenza dell'asse. Inoltre, se queste forze son parallele, l'asse soffre uno sforzo eguale alla loro somma. Nella puleggia fissa si può cambiare la direzione di una forza senza alterarne l'intensità (1).

(1) Cioè, quantunque con questa macchina non si risparmi potenza, il vantaggio consiste nel poter applicare la potenza stessa più comodamente. Così se

Nella puleggia mobile (*f. 6 t. II*), la corda è attaccata per un'estremità ad un ostacolo invincibile F ; all'altra estremità è applicata la potenza P ; e finalmente il peso da sollevarsi è sospeso all'estremità H dell'uncino della puleggia. Il punto F soffre una pressione eguale alla forza P , applicata all'altra estremità. Vi sarà dunque equilibrio, se la resistenza è eguale alla risultante di due forze eguali a P . Se le due forze son parallele, sarà la resistenza $R=2P$; ed è questo il caso più favorevole alla potenza.

Consideriamo ora un sistema di puleggie mobili A, A', A'' , (*f. 9 t. II*): chiamiamo r, r', r'' , i raggi $AC, A'C', A''C''$; c, c', c'' le corde degli archi sottesi $CD, C'D', C''D''$. Se X è la tensione della corda di A , avremo $R : X :: c : r$; per la corda della puleggia seguente $X : Y :: c' : r'$; finalmente per la terza $Y : P :: c'' : r''$. Moltiplicando per ordine avremo $R : P :: cc'c'' : rr'r''$; e il caso più favorevole sarà quello in cui le corde saranno parallele (*f. 7 t. II*), e per il quale sarà $c=2r, c'=2r', ec.$ In questo caso si ha $R : P :: 2.2.2 : 1$, ossia la resistenza sta alla potenza, come 2^n sta all'unità, chiamando n il numero delle puleggie.

Una *taglia* è un sistema di puleggie riunite in uno stesso punto (*f. 7 e 8 t. II*). Quest'apparecchio è utilissimo per sollevare grandi masse con piccole forze. Nella *f. 7 t. II* tutte le puleggie son mobili eccettuata quella sulla quale agisce direttamente la potenza. Nella *f. 8 t. II*, le puleggie inferiori sono mobili, e le superiori fisse.

Col calcolo si dimostra che la potenza P è eguale alla resistenza R divisa per 2^n nel caso della *f. 7 t. II*, e per $2n$ nel caso della *f. 8 t. II*, essendo n al solito il numero delle puleggie.

Dell'Argano.

37. Si chiama *argano, burbera o verricello* una macchina, che consiste in un cilindro d'un diametro qualunque, al quale è fissata una ruota d'un diametro maggiore, il centro della quale è nell'asse del cilindro, e il suo piano è perpendicolare ad esso. Le *f. 32, 33, 34, 35. t. II* rappresentano le forme più comuni di questa macchina. Il cilindro AB termina con due cilindri più piccoli chiamati *pernj*, i quali sono incassati in appoggi fissi, in modo che il cilindro non ha moto libero se non intorno al suo asse. Sul cilindro si avvolge una corda, che è fissata al medesimo per un'estremità; e all'altra estremità è applicato il peso R da muoversi. La potenza agisce in un punto qualunque della gran ruota, tangenzialmente alla sua superficie (*f. 34 t. II*). Qualche volta la potenza è applicata ad una manovella; ma

per sollevare direttamente un peso è necessaria una forza di lib. 100, altrettanta se ne richiede servendosi della puleggia, ma in questo caso vi è il comodo maggiore di sollevarlo tirando dall'alto in basso.

se la direzione di questa manovella è perpendicolare al raggio del cilindro AB, passa sempre lo stesso rapporto fra la potenza e la resistenza. In statica si dimostra, che per ottenere l'equilibrio con questa macchina, la potenza deve stare alla resistenza come il raggio *cm* del cilindro sta al raggio ED della ruota, o alla lunghezza della manovella FH: cioè si ha.

$$P : R :: cm : ED \text{ ovvero } FH.$$

Siccome in pratica la corda ha sempre un diametro considerevole, così bisogna aggiungere il raggio di esso al raggio del cilindro a misura che si avvolge a questo. Tal circostanza scema alquanto il vantaggio della potenza.

Delle Proprietà generali dei Fluidi.

38. In generale si distinguono i fluidi in liquidi e in fluidi elastici. I primi cambiano pochissimo di volume, per quanto considerevoli sieno le pressioni alle quali vengano assoggettati, i secondi al contrario son suscettivi di esser ridotti a volumi che sono sensibilmente in ragione inversa delle forze che li comprimono; in conseguenza i primi sono stati chiamati fluidi incompressibili.

La gran mobilità delle molecole d'un fluido forma il carattere principale di esso, come si rileva nell'acqua, nell'alcool, nell'aria atmosferica, ec.

Dell' Equilibrio dei Liquidi.

39. *Principio dell'eguaglianza di pressione.* Questo principio sul quale è fondata l'Idrostatica, è una conseguenza della perfetta mobilità delle molecole dei liquidi, come ben si comprende *a priori*, e come pur si dimostra con l'esperienza diretta. Se per esempio si prenda un vaso cubico o di qualunque altra forma (*f. 3o t. II*), e si ponga uno stantuffo ad ogni faccia, si vedrà che se si applichi ad uno di questi stantuffi una forza qualunque premente contro la massa dell'acqua, bisognerà applicare forze eguali anche agli altri per far equilibrio al primo, se tutti hanno base eguale; ed applicar forze proporzionali alle basi, se queste sono diverse.

Qui si astrae dalla gravità del liquido, poichè per un liquido più pesante la pressione è variabile, ed è tanto maggiore quanto più basso è il punto della parete sottoposta alla compressione; dimaniera che ciò che abbiamo detto relativamente all'eguaglianza della pressione in tutti i sensi, non deve intendersi che delle pressioni esercitate sul liquido da una forza qualunque diversa dalla forza di gravità. Per vedere l'influenza del peso del liquido, basta fare nelle pareti d'un vaso più aperture ad altezze diverse; e si vedrà, che la velocità con cui esce il liquido è tanto maggiore, quanto l'apertura è più vicina alla base. Che se l'apertura superiore del vaso è libera, l'atmosfera eserciterà la sua pressione a traverso del liquido, e produrrà un ef-

fetto eguale su tutti i punti delle pareti, ma la pressione prodotta dalla gravità del liquido sarà variabile.

40. Preso un sifone di egual diametro in tutti i punti (f. 11 t. II) ed empitolo di un liquido fino a un certo segno, è chiaro che anco per sola simmetria, affinchè sussista l'equilibrio, il liquido resterà allo stesso livello in ambedue le braccia. Ma ciò accade egualmente se le due braccia sono di diametro diverso (f. 12 t. II), dal che risulta che la pressione di un liquido non dipende che dalla sua altezza; e quindi essa è eguale sulle basi dei recipienti nei quali il livello è lo stesso (f. 22 t. II). La figura delle pareti non contribuisce nulla alla pressione; sicchè questa sarà sempre la stessa, finchè sieno eguali le altezze, la natura del liquido, e l'estensione della base (B).

Nella f. 18 t. II p rappresenta uno stantuffo che entra a incastro nella parte inferiore del vaso mn AB. Essendo stabilito l'equilibrio per uno dei tre vasi figurati, esso avrà luogo anco per gli altri due. Questo è ciò che si chiama *paradosso idrostatico*. Così si spiega una curiosa esperienza che consiste nel far crepare un vaso pieno di liquido (f. 17 t. II) per mezzo d'un tubo di poche linee di diametro, empito parimenti di liquido. La pressione non dipende che dall'altezza; dunque quella che eserciterà il liquido del tubo sarà assolutamente eguale a quella che eserciterebbe un altro cilindro del diametro stesso del vaso. Su questa medesima proprietà è fondata la *soppressa idraulica*. Così se si eserciti una pressione sulla colonna CD (f. 4 t. II), questa pressione verrà trasmessa a tutti i punti della superficie AB con la sua intensità. E poichè questo strumento è di un uso tanto comune, ne daremo qui una breve descrizione.

(B) Essendo a l'altezza della colonna liquida, S la superficie della base, d la densità del liquido, g la gravità, la pressione sostenuta dalla base sarà $Sadg$. Per aver la pressione sopra un lato AC (f. 19 t. II) basta ammettere che la pressione sopra un elemento è eguale al prodotto di questo elemento per la sua distanza dalla superficie superiore del liquido. Sieno p, p' due punti equidistanti dal punto di mezzo m di AC; sia $x = mp = mp'$ ed h l'altezza della colonna liquida EC. Chiamando S la superficie dell'elemento p , ed S' quella dell'elemento p' , la pressione sul punto p sarà $S \left(\frac{a}{2} + x \right)$, e quella sul punto p' sarà $S' \left(\frac{a}{2} - x \right)$; quindi $(S + S') \frac{a}{2}$ sarà la somma delle pressioni nei suddetti punti, e quindi $AC \times \frac{a}{2}$ sarà la pressione sostenuta dalla linea AC. Finalmente se questa forza venga decomposta in due, una verticale $AC \times \frac{a}{2} \cos. lmr$, e l'altra orizzontale $AC \times \frac{a}{2} \cos. lmv$, questa rimanendo distrutta dalla forza che opera in senso inverso sul lato BD, non resterà che la verticale, la quale può essere rappre-

sentata da $AC \times \frac{a}{2}$ a scn. ACE, o $AC \times \frac{a}{2} \frac{AE}{AC}$, o $AC \times \frac{a}{2}$, o $(AB - CD) \frac{1}{2} a$.

Soppressa idraulica.

41. Il Pascal (*Traité de l'Équilibre des Fluides*) concepì il primo l'idea della soppressa idraulica; e nel 1796 un Meccanico inglese la costruì sull'indicato principio. ABCD (f. 5 t. VII) rappresenta la sezione verticale d'una soppressa: EF è l'oggetto da comprimersi; HK un piano di metallo premuto da uno stantuffo P contro un altro piano MN di ferro fuso; p è lo stantuffo d'una tromba premente, che serve ad introdurre l'acqua destinata a spingere lo stantuffo P; xz è un serbatoio pieno d'acqua; r un pezzo che limita il corso dello stantuffo p ; m valvola che lascia entrar l'acqua nel corpo di tromba in cui scorre p , aprendosi dal di fuori al di dentro. In n è un'altra valvola per cui l'acqua è iniettata nel canale nl , e che parimente si apre dall'esterno all'interno. Prima si comprime l'oggetto più che si può per abbreviare l'operazione, giacchè la soppressa non comprime che a poco per volta; quindi si adatta sul piano, e poi si mette in azione lo stantuffo, che per mezzo d'un facile meccanismo si fa agire in direzione verticale.

Quando si vuol levare l'oggetto premuto si aprono le valvole m, n , e allora l'acqua ritorna nel serbatoio xz per il canale nl .

In alcune soppresse gli stantuffi delle trombe prementi sono due, di diametro diverso.

Il vantaggio della soppressa idraulica consiste nel poter esercitare uno sforzo molto considerevole con una debole potenza. Per formarsi un'idea della forza esercitata contro il piano HK, supponiamo che lo stantuffo p sia mosso da un uomo per mezzo d'una leva, le braccia della quale sieno nel rapporto di 10 : 1. Lo sforzo d'un uomo di forza media è almeno di 30 chilogrammi; dunque la pressione esercitata sullo stantuffo p sarà eguale a $30 \times 10 = 300$ chilogrammi. La base dello stantuffo p è piccolissima in paragone della base di P. Supponiamo che esse sieno nel rapporto di 1 : 20 : in tal caso per la proprietà dei liquidi (§. 40), la pressione esercitata sulla base di P sarà

La somma delle pressioni esercitate sulle diverse pareti del vaso è dunque $a \times AB - (AB - CD) \frac{1}{2} a$, ossia $a \frac{AB + CD}{2}$.

In un vaso che abbia a per altezza e $\frac{AB + CD}{2}$ per base, il peso del liquido contenuto sarà $a \left(\frac{AB + CD}{2} \right)$; quindi il peso del liquido è eguale alla somma di tutte le pressioni.

Ciò che abbiamo detto per i lati AC e AB può estendersi alle superficie ACFH, ABLI.

$300 \times 20 = 6000$ chilogrammi. È chiaro che questa forza può accrescersi per mezzo d'un più lungo braccio di leva o per una maggior superficie della base di P.

42. Tornando ora ai sifoni, se le due braccia contengano due liquidi diversi e non mescolati, *le altezze saranno in ragione inversa delle densità*. Su questo principio sono costruiti alcuni areometri a sifone, i quali però non danno che inesattissime indicazioni.

La teoria dei vasi comunicanti si applica ancora al livello delle masse d'acqua che si trovano alla superficie della terra: se non che, siccome la temperatura cambia al cambiare della latitudine e della profondità, così cambia pure il grado di salsedine dell'acqua, e quindi l'acqua del mare non è un liquido di densità omogenea; quindi si comprende facilmente che tutti i mari in comunicazione non presentano lo stesso livello.

43. Il sifone ha servito di base anco per la costruzione di altro strumento conosciuto sotto il nome di *livella ad acqua*, che serve a determinare il piano tangente alla superficie della terra. La livella è formata (f. 20 t. II) di un tubo orizzontale terminato con due braccia verticali A e B. Il tubo orizzontale e le due braccia verticali sono quasi totalmente pieni d'acqua; e da ciò è nata la denominazione di livella ad acqua.

È stata pur costruita una livella a bolla d'aria (f. 21 t. II). Si mette un liquido ordinariamente colorato in un tubo, lasciandovi una bolla d'aria, che per la sua leggerezza deve sempre trovarsi nel punto più alto. Lo strumento è perfetto quando posto sopra un piano orizzontale, il mezzo della bolla d'aria corrisponde sempre allo zero della divisione segnata sul tubo stesso, da qualunque parte esso venga voltato. Con la pratica si determina l'inclinazione dell'asse corrispondente a un dato moto della bolla d'aria.

44. Dalla natura de' fluidi risulta, che se si decompone la pressione esercitata sopra ciascun punto d'una parete in due forze, una orizzontale e l'altra verticale, le forze orizzontali d'uno stesso livello si distruggono, ed è questa la ragione per cui il vaso resta in riposo; dimanicchè se si fora una delle pareti, poichè la pressione diviene nulla in quel punto, il vaso sarà spinto in senso contrario per effetto della pressione opposta. Ciò può provarsi in una maniera semplicissima. Ad un tubo di due pollici di diametro in circa si adatti un fondo di metallo, al quale si fissino due altri tubi orizzontali e sulla medesima linea, e piegati alle estremità ad angolo retto in senso inverso (f. 23 t. II), e tutto l'apparecchio s'empia d'acqua. Si sospenda ora per un filo, o si posi sopra un pernio intorno a cui possa liberamente muoversi: se quindi si aprano i due robinetti R, R' il liquido sgorgerà, e ciascuna parte dell'apparecchio acquisterà un moto di rotazione in senso opposto alla direzione del getto corrispondente. Si potrebbe anco fissare un vaso cilindrico sopra un piano di sughero galleggiante sull'acqua, e si vedrebbe il vaso muoversi in senso opposto alla sezione che fosse fatta nella parete verticale.

45. Una massa di liquido non è in equilibrio se non quando le molecole superiori e libere formano una superficie perpendicolare alla forza che le sollecita. Infatti sia $a b c d$ (f. 16 t. II) la superficie d'un liquido contenuto in un vaso; sia PR la direzione della forza che sollecita le molecole liquide: uno strato orizzontale qualunque bd sarà premuto dal peso degli strati superiori. In seguito del principio precedente la molecola b o d sarebbe premuta con la stessa forza, e in conseguenza spostata, perchè non v'è nulla che la trattenga. Lo stesso accaderebbe delle altre molecole che succederebbero a questa finchè tutta la superficie fosse divenuta perpendicolare alla direzione della forza PR .

46. Una massa di liquido libera, sollecitata da una forza di gravità diretta verso il suo centro, non può essere in equilibrio se non quando le risultanti saranno perpendicolari alla sua superficie: questa massa diverrebbe di forma sferica. Sarebbe questo il caso dell'Oceano se la Terra fosse in riposo; ma per la rotazione di essa deve accumularsi all'equatore una maggior quantità di materia (Vedi Forze centrifughe). Presso alle grandi montagne la superficie delle acque si solleva e inclina sulla vera verticale (1).

Anco l'azione della Luna è una causa dell'elevazione e dell'abbassamento alternativo delle acque dell'Oceano; e da ciò derivano le oscillazioni periodiche del flusso e riflusso (2). Così nei tubi stretti la superficie dei liquidi è convessa o concava per effetto della combinazione di azioni analoghe (Vedi Tubi capillari). In questi diversi casi la superficie del liquido in stato d'equilibrio è perpendicolare alla risultante della gravità e delle altre forze che agiscono sul liquido.

La curvatura della superficie dei mari è sempre visibilmente sferica: quindi nei tempi più favorevoli non scorgiamo i vascelli ad una

(1) Perchè sussista l'equilibrio, bisogna che le molecole superiori e libere formino una superficie perpendicolare alla forza che le sollecita. Ora se nei mari le acque fossero soggette alla sola forza di gravità, e se tutte le direzioni della gravità concorressero esattamente al centro della Terra, le acque dovrebbero presentare una superficie sferica perchè questa è la sola figura la quale avrebbe la superficie perpendicolare a tutti i raggi che concorrono in un punto: ma si combina la forza centrifuga, che risulta dal moto di rotazione della Terra; dunque la superficie delle acque deve disporsi perpendicolarmente alla risultante di queste due forze: ed ecco perchè la superficie dei mari è schiacciata verso i poli.

(2) Sebbene la Luna sia la causa principale del flusso e riflusso del mare, tuttavia bisogna avvertire che anco il Sole contribuisce a produrre questo fenomeno, benchè in un grado minore.

distanza maggiore di sei leghe. Ma attesa la lunghezza del raggio terrestre, le forze normali dei punti poco distanti sono quasi rigorosamente parallele; quindi è che nei nostri bacini, laghi, ec. la superficie dell'acqua è quasi perfettamente piana.

Due liquidi non capaci di unirsi devono disporsi uno sopra l'altro, in modo che la superficie comune sia orizzontale. Infatti supponiamo che la superficie del liquido più pesante abbia la forma $abcd$ (f. 24 t. II), e conduciamo l'orizzontale de . Possiamo trascurare la pressione esercitata sulla linea ecd , poichè è la medesima su tutta la sua estensione. Ma non sarà lo stesso relativamente ad un punto b della linea cb . Se d è la densità del liquido $abcd$, d' quella del liquido $ABabcd$, m la superficie dell'elemento b , h l'altezza bc , la pressione nel senso di kb sarà hdm , e nel senso ab sarà hdm . Le quali due forze non saranno eguali se non nel caso di $d=d'$. Così nel caso di cui si tratta non può esistere l'equilibrio se non quando la superficie $abcd$ è orizzontale.

Si può altresì dimostrare che il liquido più pesante deve occupare la parte inferiore del vaso.

Sieno due liquidi sovrapposti AB , BD (f. 25 t. II), d la densità, a l'altezza del primo, e d' , a' , le quantità corrispondenti del secondo. Alle forze che li sollecitano si può sostituire una forza unica eguale al loro peso, che passi per i centri di figura c , c' in mezzo alle altezze a , a' . Poichè questi due liquidi hanno la stessa base, i loro pesi rispettivi possono essere rappresentati da ad e $a'd'$. Chiamando dunque x il centro di gravità del sistema, $ad : a'd' :: c'x : xc$; e però $ad + a'd' :$

$$cc', \text{ o } \frac{a+a'}{2} :: a'd' : cx, \text{ quindi } cx = \frac{(a+a')a'd'}{2(ad+a'd')}, \text{ e } cx + \frac{a}{2} = xp = \frac{aa'd' + \frac{1}{2}(a^2d' + a^2d)}{ad+a'd'}$$

L'altezza dunque del centro di gravità cresce al crescere della densità d' ; quindi perchè sussista l'equilibrio, bisogna che il liquido più pesante occupi la parte inferiore. Nel caso contrario l'equilibrio non sarebbe stabile.

47. *Principio d'Archimede. Un corpo immerso in un fluido perde del suo peso una quantità eguale al peso del volume del fluido spostato.*

Per ben comprendere questo principio, supponiamo una massa di fluido in equilibrio, e separiamo col pensiero dalla massa totale una massa m . Da quanto abbiamo detto di sopra si rileva, che la superficie superiore è premuta d'alto in basso dal peso della colonna superiore, e che la faccia inferiore è premuta dal basso in alto dal peso della colonna che riposa sopra di essa: dunque la differenza delle due pressioni verticali è eguale al peso della massa m . La pressione dal basso in alto è ciò che si dice *spinta del fluido*: le pressioni orizzontali a cui è soggetta la massa m si distruggono.

Se questa massa si consolidasse senza cambiare di densità, l'equilibrio non sarebbe disturbato; e se nel posto di essa si ponesse un corpo di densità maggiore, l'equilibrio non potrebbe più sussistere, e il corpo caderebbe, ma il suo peso scemerebbe d'una quantità eguale al peso d'un egual volume di fluido.

Per verificare questo risultamento, si fissa sotto un piatto della bilancia un cilindro pieno, e sul piatto medesimo un cilindro voto capace di contener quello esattamente, e quindi si stabilisce l'equilibrio. S'immerge poi il cilindro sodo nell'acqua, dal che nasce rottura d'equilibrio nella bilancia, il quale equilibrio si ristabilisce empiedo d'acqua il cilindro voto che è sul piatto. Ora il volume di quest'acqua è eguale al volume del corpo immerso, dunque il suo peso equivale al peso perduto dal corpo (*f. 38 t. II*).

Se il corpo è più leggero del fluido, salirà finchè il peso del fluido spostato sia eguale al suo.

Perchè sia stabile l'equilibrio d'un corpo immerso in un liquido, bisogna che il centro di gravità di questo corpo sia nel punto più basso possibile, e che sia sulla stessa verticale su cui si trova il centro di gravità del liquido spostato.

La storia delle densità e degli areometri è naturalmente collegata col principio d'Archimede: ma perchè i risultamenti delle esperienze, per essere esatti, debbono riferirsi ad una stessa temperatura, non tratteremo di questo argomento se non dopo avere esposta la teoria del calore. Per la stessa ragione ci riserbiamo di parlare allora anche del Barometro.

Compressibilità dei Liquidi.

48. Fin dal 1650 gli Accademici di Firenze istituirono esperienze per cercare se l'acqua era compressibile. Empita di questo liquido una palla d'oro e sottopostala ad una forte compressione, videro il liquido filtrare a traverso dei pori del metallo, e però eredittero di poter concludere che l'acqua era incompressibile; ma tal conseguenza è falsa, come fra poco vedremo.

Non tutti i Fisici erano del sentimento degli Accademici fiorentini; anzi molti di loro, appoggiandosi alla proprietà che ha l'acqua di trasmettere il suono, per questo appunto la riguardavano come elastica, e però come compressibile. Molti tentativi furon fatti in varj paesi, ma i metodi non erano diretti in modo da rendere i risultamenti indipendenti dall'estensione del vaso: quindi quantunque la diminuzione apparente del volume del liquido fosse considerevole, l'effetto non poteva attribuirsi, almeno interamente, alla compressibilità.

Il sig. Kauton fece le esperienze in modo che il vaso conservasse il suo volume. Questo vaso (*f. 26 t. II*) consiste in un tubo da termometro ordinario, nel quale è introdotto il liquido; e la colonna liquida è terminata con una piccola colonna di mercurio che serve d'in-

dice. Il Kanton pone quindi il termometro aperto sotto una campana, nella quale fa il voto per mezzo della macchina pneumatica; osserva l'altezza del liquido; vi fa rientrare a un tratto l'aria, e vede che appena entra l'aria, il liquido del tubo, qualunque sia, si abbassa non poco sotto il primitivo livello. E poichè il vaso è premuto egualmente al di fuori e al di dentro, così non può produrre veruna modificazione sulla compressione del liquido. In tal modo il Kanton trova 0,000046 del volume primitivo per la compressione dell'acqua corrispondente ad un'atmosfera. Il sig. OErstedt ponendo questo medesimo apparecchio in una provetta, ossia in un tubo curvato in forma di U, chiuso da una parte e pieno d'acqua, e facendovi scendere uno stantuffo per mezzo di una vite, ha trovato 0,000045. Il sig. Perkins in Inghilterra fece egli pure su questo argomento molte ingegnossissime ricerche, a molte centinaia di atmosfere; e dalle sue esperienze rilevò la compressibilità dell'acqua quasi eguale a quella trovata dal Kanton. È dunque ormai incontrastabile la compressibilità dei liquidi. Il mercurio è molto meno compressibile dell'acqua; e più compressibili di questa sono l'alcool, l'etere solforico, ed altri simili liquidi.

L'apparecchio dell'OErstedt non ci sembra abbastanza esatto, poichè egli non avverte se il piccolo indice penetra o no nel liquido in tempo dell'esperienza. Potrebbe in vece di quello adoprarvi un altro apparecchio rappresentato dalla *f. 27 t. II* e da me presentato molti anni sono all'Accademia. Quando il tubo sia immerso nella macchina da compressione, l'aria della parte CD separerà sempre il piccolo indice *m* dal liquido circostante, sicchè la penetrazione di questo indice nel liquido del tubo *mn*, non produrrà errore veruno, perchè è sempre noto il volume sul quale si opera (1). In vece poi della provetta ad acqua, sarà più opportuna una provetta a mercurio.

Ho fatto con questo apparecchio un gran numero d'esperienze, dalle quali ho rilevato che *la compressibilità de' liquidi è tanto più debole sotto una data pressione, quanto essi sono più compressi*; ed ho presentato all'accademia questo risultamento in un'epoca in cui

(1) Quando nel precedente apparecchio l'indice si trovava fra due masse d'acqua, questa esercitava su quello azione e reazione eguale; e quindi secondo l'A restava sempre il dubbio se l'indice penetrasse nella massa inferiore o superiore. Ora che dalla parte superiore ha l'aria che esercita una forza di pressione diversa, se si vede abbassare, o condensarsi realmente l'acqua senza penetrarvi, o penetrarvi in parte nei suoi pori, produce sempre un restringimento, ossia una compressione nell'acqua sottoposta. In tutti i casi però anche nell'esperienza dell'OErstedt ci sembra che apparisca egualmente chiaro il fenomeno; e tutto al più il risultamento non sarà esatto, relativamente alla colonna sottoposta, a motivo della doppia massa d'acqua sulla quale opera il mercurio.

tutti i Fisici credevano, che la compressibilità fosse proporzionale alla pressione.

L'OErstedt secondo le sue esperienze ammette, che la compressione dell'acqua è proporzionale alla forza comprimente fino a 7 atmosfere.

Secondo i sigg. Colladon e Sturm, l'alcool, l'etere solforico e l'etere idroclorico hanno una compressione decrescente. Noi siamo d'avviso, come abbiamo già detto, che tutti i liquidi sieno soggetti a questa diminuzione (Vedi *Addizioni*).

Ma i risultamenti diretti delle esperienze devon correggersi, perchè l'inviluppo del *piezometro* essendo compresso e dentro e fuori, la capacità viene a seemare.

Molti Fisici ammettono che questa diminuzione accada come quella di una massa solida della stessa materia; ma il sig. Poisson ha fatto vedere, che in questa giusta ipotesi la capacità primitiva essendo V , sotto la pressione P diviene $V \left(1 - \frac{3d}{2}\right)$, essendo d la contrazione che

provverebbe nella sua lunghezza un'asta della stessa natura del *piezometro*, e sostenendo alle sue estremità la medesima pressione P riferita all'unità di superficie (*Ann. de Ch. et de Phys. t. 38*).

Si sprigiona egli calore nell'atto della compressione dei liquidi?

L'OErstedt non è riuscito a renderlo sensibile. I sigg. Colladon e Sturm hanno veduto alzarsi molti gradi il termometro del Breguet nel comprimere repentinamente l'etere solforico, mentre comprimendo l'acqua e l'alcool non hanno prodotto alcun cambiamento di temperatura. Ma poichè sull'andamento del termometro del Breguet ha parte soltanto la compressione, così non possiamo fidarci alle indicazioni di questo strumento per la variazione di temperatura.

Io ho presentato all'Accademia un metodo opportuno, se non m'ingannuo, a sciogliere una tal questione. Questo metodo consiste 1.º nel lasciare che il corpo liquido sottoposto ad una determinata compressione passi ad una nota temperatura, immergendo tutto l'apparecchio in una gran massa d'acqua; 2.º nel misurare l'abbassamento di temperatura nel momento in cui si riporta il liquido alla pressione ordinaria. Il freddo prodotto dall'espansione è evidentemente eguale al calore sviluppato dalla compressione. Mi sembra che questo metodo sia vantaggioso, perchè possiamo servirci di un termometro ordinario, e quindi ridurci a risultamenti pochissimo lontani dal vero.

Proprietà dei Gas

49. I fluidi elastici trasmettono egualmente la pressione in tutti i sensi, ed esercitano altresì una maggiore o minor pressione sulle pareti dei vasi che li contengono.

Il principio dell'eguaglianza di pressione in tutti i sensi si verifica

per mezzo di un apparecchio assai semplice, il quale consiste in un cilindro voto $Mnpq$ (f. 31. t. V), nelle pareti del quale sono state fatte varie aperture r, r', r'', r''' , a diverse altezze. In queste aperture son fissati altrettanti tubi ricurvi a forma di sifone; e ciascuno di questi sifoni contiene un liquido, il quale si mette naturalmente a livello nei due bracci. Il cilindro è chiuso nella parte superiore e aperto nell'inferiore: immergendolo in un vaso pieno d'acqua, si vede il liquido salire egualmente in tutti i tubi a misura che il sifone s'immerge. Perchè questo cilindro penetri nel liquido, bisogna necessariamente esercitare sulla sua parte superiore una certa pressione; e la stessa aria interna si trova compressa e trasmette la compressione egualmente a tutti i punti della sua massa.

In una maniera molto semplice si dimostra la pressione esercitata dalle molecole di un gas contro le pareti del vaso che le contiene. Si pone pertanto sotto la campana della macchina pneumatica una vescica contenente una piccola quantità d'aria o di qualunque gas; e fino dai primi colpi di stantuffo si vede gonfiarsi la vescica ed occupare tutto quello spazio, che occuperebbe se fosse perfettamente piena d'aria. Ora a misura che scema l'elasticità dell'aria nella campana, l'aria interna della vescica non potendo escire, obbedisce alla forza repulsiva che anima le sue molecole, preme contro le pareti della vescica, e ne accresce necessariamente il volume.

In una massa d'aria egualmente che in una massa liquida, perchè l'equilibrio sussista, bisogna che tutti i punti situati sopra una stessa linea orizzontale, sieno dotati della stessa elasticità. Così due punti a e b (f. 10. t. II.) non possono restare in riposo, se non finchè si respingono con forze eguali; la qual condizione è indispensabile per tutti gli strati orizzontali.

L'equilibrio instabile di cui abbiamo parlato di sopra (§. 30) non può esistere per i gas a motivo della gran mobilità delle loro molecole. Quindi è facile il comprendere, che l'immensa massa d'aria, che inviluppa la terra non deve mai restare in riposo.

50. La pressione dell'atmosfera si dimostra con un'esperienza singolare. Si prendon due emisferi concavi (f. 37 t. II.) si uniscono insieme, e per rendere più facile e completa questa unione si poue fra essi un cuoio bagnato; quindi si fa il voto osservando di premere in principio sopra l'emisfero superiore. Fatto il voto, chiuso il robinetto, che comunica con la macchina pneumatica, e tolta la sfera, per separare i due emisferi si richiede uno sforzo considerevole. Quest'effetto non può attribuirsi, che alla pressione atmosferica, poichè se si apra il robinetto l'aria rientra, e gli emisferi si separano senza il minimo sforzo. Questa esperienza fu immaginata da Ottone di Guericke.

51. In una massa d'aria o di qualunque altro fluido elastico in equilibrio la forza elastica in ciascun punto è eguale alla pressione. Infatti sia ABCD (f. 18. t. II) un vaso aperto dalla parte inferiore, e chiuso dalla superiore con una vescica bagnata: se si chiuda la parte infe-

riore la vescica resterà sempre tesa; il che prova, che l'elasticità dell'aria interna è eguale alla pressione esterna. Ma se si ponga questo vaso sopra una macchina pneumatica e si faccia il vòto, fin da' primi colpi di stantuffo, l'elasticità dell'aria del vaso scemerà, e quindi non potrà più fare equilibrio alla pressione atmosferica; e in conseguenza la vescica diverrà concava, e anco creperà se si prosegua a fare il vòto.

52. La pressione dell'atmosfera è la stessa in tutti i sensi: così la pressione che opera dall'alto in basso sostiene il mercurio nel barometro. E se si alzi adagio adagio il barometro dal pozzetto in cui è immersa la sua bocca si vedrà che il mercurio interno vi resta alla medesima altezza. Per la quale esperienza però è necessario assottigliare il tubo alla parte inferiore, affinchè l'aria non divida la colonna mercuriale. Qui il mercurio non è sostenuto che in virtù della pressione atmosferica dal basso in alto. E se il barometro si disponga come è rappresentato dalla *f. 39 t. II*, il mercurio vi resterà pure alla medesima altezza. L'aria dunque esercita una pressione dal basso in alto, dall'alto in basso e lateralmente con una eguale energia (Vedi *Barometro*).

Dei Tubi capillari.

53. La teoria dei fenomeni capillari non può trattarsi completamente senza il soccorso dell'analisi sublime. Ci basterà adunque di esporre primariamente il fenomeno sperimentale e le principali circostanze che lo accompagnano, e quindi daremo un'idea delle cause di questi fenomeni.

È un fatto provato da molto tempo, che quando si immerge in un liquido un tubo di piccol diametro, il livello nell'interno di esso è diverso dal livello all'esterno; e quando il tubo è suscettivo di esser bagnato dal liquido, il livello interno è ancora più alto, come si osserva immergendo un tubo sottile di vetro liscio nell'acqua, nell'alcool, ec. Se il tubo non è suscettivo di esser bagnato dal liquido in cui viene immerso, il livello dell'interno è più basso dell'esterno, come si osserva immergendo nel mercurio un tubo bagnato, o nell'acqua un tubo unto.

I fenomeni capillari sono assolutamente indipendenti dalla pressione atmosferica, poichè sono gli stessi nell'aria e nel vòto.

Sotto il nome di fenomeni capillari non si comprendono solamente quelli che si osservano nei tubi stretti, ma molti altri ancora che son prodotti dall'attrazione esercitata a piccolissime distanze.

Le azioni che producono i fenomeni capillari non si esercitano che a distanze piccolissime. Per dimostrarlo in un modo sperimentale si immergano nell'alcool o nell'acqua molti tubi di vetro di egual diametro interno, ma di pareti di grossezza diversa; e si vedrà che il liquido si alza in tutti alla medesima altezza. Parimente se si immergano in un liquido due pale, una vòta, di vetro sottile, l'altra di vetro sodo, ed ambedue di egual diametro, egual quantità di liquido s'eleverà intorno all'una e all'altra. A queste esperienze si possono aggiungere

ancora i risultamenti che si ottengono dai dischi. Si sa che un disco di vetro, di metallo, ec., posto sulla superficie d'un liquido, non può esserne sollevato se non con un peso superiore al suo: Il qual eccesso di peso, che dipende dall'attrazione esercitata dalla materia del disco sul liquido, è lo stesso, qualunque sia la grossezza del disco medesimo. Così pure in due tubi di egual diametro, bagnati interamente con un liquido in cui poi vengano immersi, il liquido si alza allo stesso livello, di qualunque natura sia la loro sostanza.

Il sig. Clairaut avea data una teoria matematica dei fenomeni capillari, ma incompleta. Il Laplace ha trattato questo argomento con tutta l'estensione; e noi indicheremo qui i principali risultamenti ai quali dall'analisi è stato condotto questo illustre Geometra.

E primieramente si osservi, che un liquido in riposo esercita sopra se stesso un'azione indipendente dalla gravità terrestre, la qual'azione tende a far entrare nell'interno del liquido le molecole situate alla sua superficie, e che produrrebbe realmente questo effetto, se non vi si opponesse la resistenza che resulta dalla impenetrabilità. I calcoli del Laplace dimostrano, che se per una circostanza qualunque la superficie divien concava o convessa, come accade nei tubi capillari, l'azione del liquido sopra se stesso è diversa da quella che era nel caso di una superficie piana.

Sia F l'azione d'una superficie piana, ed R il raggio d'una superficie convessa sferica, l'azione della quale è maggiore della prima, e

sarà espressa da $F + \frac{C}{R}$: l'azione di una superficie concava del medesimo raggio sarà $F - \frac{C}{R}$, essendo C una quantità costante; sicchè

la differenza fra l'azione di una superficie piana e quella d'una superficie sferica, è in ragione inversa del raggio della sfera. Il secondo caso è quello dell'acqua, dell'alcool e degli altri liquidi che bagnano perfettamente il vetro; il primo è quello del mercurio.

Partendo da questi dati matematici, è facile trovare la ragione fisica che determina l'ascensione o l'abbassamento dei liquidi nei tubi capillari. Supponiamo infatti che la colonna di liquido in un tubo A termini in un menisco concavo (*f. 6. t. XVI*): figuriamoci un secondo tubo, le pareti del quale, infinitamente sottili, sieno il prolungamento della superficie interna del primo: supponiamo inoltre che il tubo si ripiegghi per la parte inferiore in modo da venire a terminare in B alla superficie libera del liquido. Il tubo $ACDB$ è premuto ai suoi due orifizj A e B da due forze diseguali; una in B è l'azione di un corpo che termina in superficie piana, l'altra in A , che è quella di un corpo il quale termina in superficie concava; ma questa è più debole dunque perchè sussista l'equilibrio, bisogna che il liquido sia più elevato nel tubo capillare AC : e poichè nei tubi capillari il raggio del

menisco è quello del tubo stesso; ne segue che l'altezza della piccola colonna sarà in ragione inversa del diametro del tubo. Questo risultamento infatti è conforme alle esperienze di molti Fisici; e specialmente a quelle esatissime del sig. Gay-Lussac.

ESEMPLI Diametro dei tubi in millimetri	ELEVAZIONE IN MILLIM.	
	Acqua	Alcool
1,294	23,163	9,182
1,904	16,586	6,084

la densità dell'alcool era 0,820 e la temperatura nell'epoca dell'esperienza 8,5.

Se la superficie del liquido fosse convessa, risulterebbero effetti contrarj; poichè l'azione esercitata dalla superficie convessa essendo maggiore di quella esercitata dal piano, il liquido dovrà abbassarsi sotto il livello (*f. 7, t. XVI*), e l'altezza della colonna sarà in ragione inversa del diametro del tubo; e qui pure l'esperienza è perfettamente concorde con la teoria.

Con la medesima teoria si spiega l'ascensione dell'acqua nell'intervallo di due cilindri concentrici, tra piani e in tubi conici; e si spiega egualmente la forma sferica che prendono le gocce dei liquidi, la curva d'un liquido fra due lastre di vetro altrettanto inclinate, ec. Per esempio, se si introducea in un tubo conico di vetro una goccia d'acqua o d'alcool, essa prenderà una forma concava alle due estremità; e poichè l'azione di una superficie è in ragione inversa del suo raggio, è chiaro che il liquido si avanzerà verso il vertice (*f. 30, t. XVI*).

Vi sono moltissimi fatti prodotti dalla stessa causa dei fenomeni capillari: per esempio, la rapida ascensione dell'acqua in un corpo poroso, come zucchero in pane, mattoni, ec. immersi; e per la stessa ragione l'acqua si eleva nei muri, nei mucchi di sabbia, ec. (1).

(1) L'azione stessa che produce il fenomeno dei tubi capillari, produce quel fenomeno che si osserva in due piccoli corpi posti a galleggiare sopra un liquido, i quali quasi si attraggono o si respingono, mentre in stato libero non presentano quest'azione in verun modo. Se questi due corpi galleggianti sull'acqua sono ambedue incapaci d'esser bagnati, come due palline di cera, l'acqua intorno ad esse si abbasserà formando una superficie convessa in alto. Ora finchè queste palline sono ad una certa distanza, l'equilibrio si conserva; ma se si vadano avvicinando fra loro, vi sarà un termine in cui tutto il liquido compreso nel loro intervallo soffrirà un abbassamento, come fra due lastre contigue

Per la teoria completa dei tubi capillari si veggano le Mem. del Laplace, in supplemento alla meccanica celeste. Si vegga pure una nota del Lehot, molte Mem. del Girard, una Mem. del Navier, alcune Osservazioni del Petit; ec. *Ann. ch. et phys.* t. 4, 5, 6), e un importante lavoro del Poisson, nel quale egli ha tenuto conto della rapida variazione di densità che prova il liquido presso alla superficie libera e presso alle pareti del tubo.

Moto dei liquidi.

54. Il Torricelli scopri che un liquido, come composto di molecole mobilissime, mentre per un piccolo orifizio sgorga determinato dal suo proprio peso soltanto, *nell'escire dall'orifizio ha una velocità eguale a quella che acquisterebbe un grave cadente con libera caduta nel vuoto dalla superficie superiore fino al livello dell'orifizio medesimo.* E questo effetto non cambia quando la superficie superiore e la superficie dell'orifizio sono premute egualmente; dunque anco all'aria libera è lo stesso. Così se l'altezza della colonna è 15 metri, la velocità al principio dello sgorgo sarà $(\S. 15) \sqrt{2g.S} = \sqrt{2.9^m, 8.15. (a)}$.

immerse parallelamente nel mercurio; e allora le pressioni del liquido dalle parti esterne delle palline divenendo maggiori, le spingeranno una verso l'altra, sicchè esse sembreranno attrarsi.

Se i due galleggianti saranno ambedue capaci d'esser bagnati, il liquido si eleverà intorno ad essi: e quando sieno a piccolissima distanza fra loro, l'acqua si eleverà maggiormente, come fra due lastre o come in un tubo capillare, ed essi obbediranno pure alle pressioni esterne, e si uniranno fra loro come se si attrassero.

Finalmente, se uno di essi sia capace d'esser bagnato, come il sughero, e l'altro no, come la cera, accadrà che intorno al primo l'acqua si alzerà sopra il livello, e intorno al secondo si abbasserà; sicchè se vengano avvicinati fra loro ad una piccola distanza, la pressione che opera lateralmente sopra la cera dalla parte del sughero, essendo più forte di quella che accade dalla parte opposta, a motivo dell'innalzamento del liquido dalla parte interna del sughero stesso, la pallina di cera sarà forzata a retrocedere, come se fosse respinta dalla pallina di sughero. — Dunque in tutti i casi queste attrazioni e queste repulsioni non sono che apparenti, ed hanno per vera causa la causa stessa dei fenomeni della capillarità.

(a) Le *clepsidre* o *orologi ad acqua* degli antichi erano fondate sulla legge dello sgorgo de' liquidi. Infatti da ciò che diremo al §. 58 si dedurrà che un vaso pieno di liquido può dividersi in parti tali che vengano votate in tempi eguali. Del resto varie sono le forme di queste clepsidre; ma qui non si tratta che d'indicare il principio sul quale son costruite.

Questa espressione dimostra che le velocità dello sgorgo sono *proporzionali alle radici quadrate delle altezze*. Il qual risultamento è vero del pari quando la superficie superiore e la superficie dell'orifizio sono egualmente premute; quindi è vero egualmente all'aria libera. Se la pressione esercitata alla superficie superiore è maggiore di quella esercitata all'orifizio, questo eccesso di pressione può essere rappresentato da una colonna liquida che bisogna aggiungere all'altezza del liquido che sgorga; e allora la velocità del liquido dell'orifizio dipende dall'altezza totale. Che se la pressione all'orifizio fosse maggiore che alla superficie, bisognerebbe togliere dall'altezza del liquido la colonna rappresentata dalla differenza.

55. Per sapere la quantità di fluido sgorgato bisogna moltiplicare la velocità per la superficie dell'orifizio; e il prodotto sarà il numero cercato per l'unità di tempo. In pratica però si ottiene un effetto eguale a $\frac{2}{3}$ dell'effetto calcolato, la qual differenza dipende dal restringimento prodotto all'uscita del getto, e che si chiama *contrazione della vena fluida*. La vena conserva qualche tempo lo stesso diametro, e quindi si allarga in forma di spazzola mescolandosi con l'aria. Si può aggiungere, che la porzione della vena che non è ancora disunita nel mescolarsi con l'aria, sembra in un riposo perfetto; che il getto, qualunque sia la forma dell'orifizio, descrive visibilmente una parabola; che gli altri elementi della vena contratta sono modificati dalla forma dell'orifizio. L'altezza del liquido e la forma delle cannelle aggiunte contribuiscono singolarmente al prodotto dello sgorgo, per esempio la quantità di liquido sgorgata sarà minore se la parete è convessa verso il liquido, e sarà maggiore nel caso contrario (*f. 14. t. II*). Una tal contrazione è prodotta dalla differenza delle velocità: infatti le molecole che partono dagli orli dell'orifizio, hanno in principio una velocità minore di quelle che partono dal centro; e la loro velocità cresce a misura che esse si avvicinano alla *sezione contratta*, ossia alla sezione della vena contratta (1). Allora tutte le molecole dal centro fino alla superficie hanno una velocità sensibilmente eguale che differisce pochissimo dalla calcolata. Su questo argomento si possono consultare l'opera del Belidor con le note del Navier, e la memoria

(1) L'acqua deve sgorgare con maggior velocità verso il mezzo dell'orifizio, che verso gli orli, perchè in questi è ritardata dall'attrito che essi producono. Da un dato orifizio adunque, in un tempo dato, sgorgerà una quantità minore d'acqua, che se tutti i fili acquei avessero una velocità uniforme, e ciò tanto più, quanto più stretto sarà l'orifizio, perchè le circonferenze dei cerchi essendo fra loro come i diametri, mentre le superficie sono come i quadrati dei medesimi, i piccoli orifizj avendo maggior circonferenza in proporzione dei più grandi, ritarderanno più la velocità dell'acqua, relativamente alla quantità che dovrebbe sgorgarne.

del sig. Hachette, inserita negli *An. de Chim. et Phys.* 1817-1818, ec.

Il prodotto dello sgorgo, sotto una pressione costante e da un orifizio dato in pareti sottili, si paragona al prodotto che resulterebbe secondo la legge del Torricelli. Dal rapporto di questi due prodotti si deduce quello fra la sezione contratta e la superficie dell'orifizio; e poichè nota è la prima, nota pure sarà la seconda.

La costanza del livello è una condizione necessaria perchè riescano esatte le esperienze di questo genere, alla qual condizione si soddisfa in più maniere facendo venire nel vaso tanta acqua, quanta ne sgorga. Ognuno può immaginare mezzi opportuni per ottenere ciò; ma conviene evitar sempre di agitar l'acqua anco alla sua superficie (V. Prony).

56. *Cannelle.* Si chiamano cannelle i tubi che si adattano agl'orifizi in pareti sottili per far passare il liquido che sgorga.

Se la cannella ha la figura che prende la vena dall'orifizio fino alla sezione contratta, non contribuisce nulla alla maggior quantità di sgorgo,

La cannella formata da due coni tronchi (f. 13 t. II) produce lo sgorgo massimo. Se la parte *abcd* è esattamente della figura della vena, e se *hk* è eguale a tre volte *eh*, e *de* sia $\frac{2}{3}$ di *mn*, lo sgorgo può crescere nel rapporto di 10 : 15.

Una cannella cilindrica accresce pure lo sgorgo, ma meno della precedente.

Qualunque rigonfiamento nella cannella importa diminuzione di sgorgo.

Si chiama *pollice d'acqua* la quantità d'acqua sgorgata in un minuto da un orifizio circolare d'un pollice di diametro, sotto la pressione di sette linee sopra il suo centro, ed è 28 libbre, ossia 13¹/₂ kil, 706; il che equivale ad un cilindro d'un pollice di diametro e lungo 880 pollici.

Se si vuol sapere in pollici d'acqua la portata d'un ruscello, basterà ricever l'acqua che esso somministra in un minuto, e dividere la sua quantità per 28 libbre, e il quoziente esprimerà il numero cercato di pollici d'acqua.

Spesso è impossibile trovar direttamente la quantità d'acqua sgorgata, e in tal caso si supplisce con l'osservarne la velocità. A tal effetto si getta sulla superficie dell'acqua una palla di tal densità che vi si immerga quasi completamente, per es. una palla di cera, alla quale si unisce un corpo anco più denso: con un orologio a secondi se ne osserva lo spazio percorso in un minuto; e dividendo questo numero per 880, si ha il numero dei pollici d'acqua che in un minuto somministrerebbe una sezione circolare di un pollice.

Questo calcolo però dovrà esser relativo alla superficie, perchè è stato provato che la velocità d'un'acqua profonda non è la stessa alla sua superficie e nel suo interno.

Quanto abbiamo detto fin qui relativamente al pollice, si riferisce

ad una pressione di sette linee: per un'altezza diversa si ricorre alla regola del Torricelli, della quale si sa che il prodotto è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza: così 28 pollici di pressione, darebbero un prodotto doppio, 63 uno triplo, ec.

57. Diciamo qualche cosa dei getti d'acqua. Sia un vaso ABCD (f. 6 A. II) pieno d'acqua fino all'altezza AB: il liquido che sgorga per E ha una velocità eguale a quella che acquisterebbe un corpo che cadesse da questa altezza: dunque deve elevarsi ad un'altezza EF eguale ad AB. Tale infatti è l'altezza che si osserva nel vòto, ma nell'aria è molto minore per motivo della resistenza che questa gli oppone. Ecco la formola dedotta dalle esperienze del Mariotte: chiamando H, H' le altezze di due serbatoj, e h, h' quelle a cui si vogliono elevar i getti d'acqua, si ha la proporzione $H:h :: H':h' :: h^2:h'^2$. Sapendosi per esempio che un'altezza di 5 piedi e 1 pollice produce un getto di 5 piedi, si voglia sapere l'altezza d'un serbatoio capace di produrre un getto di 100 piedi. Sostituendo nella formola citata questi valori, avremo $5\text{pi} \text{ 1 pol} = 5\text{pi} :: X = 100 :: 5^2 :: 100^2$, dal che si ha $X = 133 \frac{1}{2}$ piedi, altezza da darsi al serbatoio, per avere un getto di cento piedi. Perchè per altro questa regola sia concorde con l'esperienza bisogna fare che il getto sia alquanto obliquo, affinchè il liquido che ricade verso la terra non indebolisca la velocità del getto ascendente.

Tubi dei Condotti

58. Questo argomento richiederebbe uno sviluppo molto esteso. Noi ci limiteremo a citare i principali risultamenti.

Il Prony ha ottenuta la formola seguente per la velocità dell'acqua

nei tubi $V = 26,79 \sqrt{\frac{DH}{L}}$, dove D è il diametro, L la lunghezza del

tubo, e H l'altezza del livello dell'acqua al di sopra dell'estremità del tubo per il quale scorre il liquido. Se questa estremità pescasse nell'acqua, bisognerebbe sottrarre tutta la parte sommersa. L'unità di misura è il metro.

Questa formola però non è applicabile se non nel caso in cui $\frac{D}{L}$ è minore di $\frac{1}{100}$, e D maggiore di 0,01: e dentro questi limiti il Prony stesso l'ha verificata per tubi lunghi sino a 2300 metri.

Sgorgo dei liquidi per tubi sottili

59. Questo argomento non è stato fin qui molto sviluppato in teoria. Possono però citarsi alcuni risultamenti dell'esperienza.

1° I liquidi incapaci di bagnare la materia di cui son formati i tubi cessano di sgorgare sotto una pressione più o meno forte secondo la lunghezza ed il diametro del tubo.

Esempio. Sotto una pressione di $8^{\text{mm}} 5$ il mercurio cessa di sgorgare in un tubo di vetro di 1^{mm} , 77 di diametro, e lungo 939^{mm} .

2° I liquidi capaci di bagnare la sostanza dei tubi sgorgano con la stessa velocità o peschi il tubo nel liquido stesso o nell'aria, purché la pressione resti la medesima.

L'aumento di temperatura fa accelerare notabilmente la velocità dello sgorgo dei liquidi che bagnano i tubi; mentre contribuisce pochissimo ad aumentarla per i liquidi che non li bagnano (Girard, *An. de Ch. et Phys.* t. 4, p. 146).

Delle pressioni laterali esercitate dai liquidi in moto

60. La pressione esercitata da un liquido contro le pareti di un tubo in cui scorre è minore che nello stato di riposo; e secondo il Bernoulli essa è eguale all'altezza del liquido al di sopra del punto che si considera, meno l'altezza che produrrebbe la velocità che esiste realmente in questo punto. Quindi è chiaro che questa pressione sarà tanto maggiore, quanto più sarà scemata la velocità. Potrà anco accadere che la pressione sia negativa, e che quindi abbia luogo assorbimento. Tale sarebbe il caso delle cannelle cilindriche, le quali come abbiamo veduto producono uno sgorgo maggiore di un'apertura di egual diametro in pareti sottili. Se ad una cannella di questo genere si adatta un tubo di vetro (*f. 15. t. II*) che peschi nel mercurio, durante lo sgorgo per la cannella si vedrà il liquido salire ad una certa altezza nel tubo di vetro.

Citeremo qui un'esperienza molto singolare del Venturi. Questo celebre meccanico prese una cannella slargata alla bocca, e vi adattò tre tubi verticali, il primo a 10, il secondo a 56 e il terzo a 62 linee dall'origine. Il mercurio sotto una carica di 32,5 pollici si alzò nel primo a 52 linee, nel secondo a 20,5 e nel terzo a 7. E poichè 52 linee di mercurio equivalgono a 62 pollici d'acqua, ne segue che l'assorbimento era quasi doppio della carica.

Moto dei Gas

61. I Gas nel loro sgorgo in pareti sottili sono soggetti al teorema del Torricelli. Si potrebbe quindi calcolare la velocità con cui l'aria si precipiterebbe nel vòto sotto la pressione ordinaria di $0^{\text{m}}, 76$.

Il Gas si considera come un liquido di egual densità, e sottoposto ad una pressione eguale alla sua elasticità. La pressione essendo $0^{\text{m}}, 76$ in mercurio ossia $10^{\text{m}}, 32$ in acqua, e la densità dell'aria riferita all'acqua essendo $0,0013$, ne segue che la colonna d'aria pesante $10^{\text{m}}, 32$ sarà di $\frac{10^{\text{m}}, 32}{0,0013}$, ossia 7945^{m} . Ora secondo la formula $V = \sqrt{2gh}$, un corpo cadendo da questa altezza acquisterebbe una velocità di 279^{m} per secondo. Questa è la velocità con cui l'aria en-

tra nel vòto. E poichè la densità dell'aria è proporzionale alla pressione, la velocità con cui questa penetra nel vòto è la stessa, qualunque sia tal pressione.

Se una pressione si esercitasse all'orifizio in senso opposto allo sgorgo, questa si dovrebbe detrarre dalla pressione interna, e operar poi sulla differenza come abbiám fatto di sopra.

Per la formola indicata le altezze dalle quali son supposte cadere le molecole dei diversi gas sono in ragione inversa delle densità; e quindi le velocità per penetrare nel vòto sono in ragione inversa delle radici quadrate di queste densità. Così la velocità dell'idrogene, che è il più leggiero di tutti i gas, è 1065 metri per secondo, cioè doppia della velocità di una palla da cannone. Del resto le leggi sullo sgorgo dei gas non sono state peranco verificate con rigorose esperienze.

I gas presentano come i liquidi il fenomeno della contrazione della vena. Il sig. d'Aubuisson (*An. de Ch. et Phys.* t. 3. p. 327) ha trovato con l'esperienza che per l'aria il rapporto fra la quantità reale e la quantità teorica è 0,65, sgorgando per un orifizio di parete sottilissima, 0,93 per una cannella corta e cilindrica, 0,95 per una cannella corta conica e poco ovale. Del resto la velocità dello sgorgo era da 21^m a 48^m per secondo.

62. *Sgorgo dei Gas nei tubi.* I sigg. Girard e Cagniard-Latour, hanno fatto una serie d'esperimenti sull'aria e sull'idrogene carbonato, ed hanno concluso.

1.° Che il gas idrogene carbonato e l'aria atmosferica ridotti al medesimo stato di compressione si muovono con le stesse leggi, e provano esattamente le medesime resistenze negli stessi tubi, e ciò indipendentemente dalle loro densità specifiche:

2.° Che la resistenza che provano i fluidi aeriformi a muoversi nei tubi di condotto, è esattamente proporzionale al quadrato della loro velocità media:

3.° Finalmente che in conseguenza di questa legge e di quella del moto lineare, gli sgorgi del gas per un condotto dato di grandezza uniforme, sono sempre in ragion diretta della pressione indicata nel serbatoio che alimenta lo sgorgo, e in ragione inversa della radice quadrata della lunghezza del condotto.

Sgorgo per tubi sottilissimi. Il sig. Faraday (*An. de Ch. et Phys.* t. 10) ha trovato che i gas più leggieri scorrono più velocemente sotto forti pressioni, e più lentamente sotto pressioni deboli: ma vi è forse bisogno di ripetere simili esperimenti.

63. *Pressione laterale dei Gas durante lo sgorgo.* Se si fa un'apertura di uno o due pollici in un serbatoio d'aria compressa, e vi si avvicina un disco di legno o di metallo di 7 pollici e $\frac{1}{2}$ di diametro, in principio esso verrà respinto, ma quando sarà vicinissimo all'apertura vi resterà attaccato, allontanandosene o avvicinandovisi ben poco. Questo fatto singolare è stato osservato per la prima volta dal sig. Griffith direttore delle ferriere di Fourchambault; e il sig. Clement

ne ha data la spiegazione seguente. La vena d'aria compressa, passando fra il disco e le pareti del serbatoio, si spande e si dilata a segno da avere una elasticità minore della pressione dell'atmosfera: il disco dunque è spinto dall'eccesso di quest'ultima pressione sopra la pressione del gas dilatato.

Si può fare questo esperimento nel modo indicato dal sig. Hachette, cioè soffiando dell'aria in un tubo conico *mn* (f. 31 t. II): allora si vede subito il disco AB respinto, ma ben presto aderisce all'apertura *or*.

Da ciò si vede che sarebbe pericoloso il fare le lastre delle valvole di sicurezza delle macchine a vapore di un'estensione molto maggiore di quella delle aperture alle quali devono essere applicate.

Gassometri.

64. In molte ricerche di Fisica è necessario poter fare scorrere l'aria o qualunque altro gas con una velocità costante. L'apparecchio immaginato per questo fine si chiama *gassometro a livello costante*.

1.° Sia AB (f. 24 t. V) un vaso pieno d'acqua al quale sono adattati due tubi orizzontali N e V: inoltre un tubo HO aperto alle due estremità e destinato a trasmettere la pressione atmosferica s'introduce ad incastre nel collo O del vaso, e si riempie anch'esso di acqua. Se si apre il canale superiore N, l'acqua sgorga, e lo sgorgo prosegue finchè il livello dell'acqua nell'interno del tubo sia all'altezza dell'orifizio N. E poichè allora lo sgorgo cessa, bisogna che vi sia equilibrio fra la pressione atmosferica che si esercita lateralmente in N, e quella che si esercita verticalmente per il tubo O.

2.° Se si apre il canale V posto al di sotto dell'apertura inferiore del tubo OH, si vede entrar l'aria per l'estremità H di questo tubo, e l'acqua sgorgare per il canale V con una velocità costante: il peso della colonna d'acqua HI più il peso dell'atmosfera premono l'aria in V e l'acqua sgorga in virtù della differenza di livello Hf, ed è proporzionale a quello; dimanierachè la velocità ne è costante finchè l'acqua è mantenuta al di sopra del punto H.

Sia ora A un vaso pieno d'aria (f. 32 t. V), e si voglia fare uscire quest'aria a porzioni eguali in tempi eguali. A tal fine si pone sopra questo vaso un altro vaso B pieno d'acqua. Un tubo di cui l'orifizio inferiore Q è piegato in alto stabilisce la comunicazione fra questo serbatoio d'acqua e il vaso pieno d'aria. Al vaso superiore si adatta un tubo OH, che pesca fino ad una certa profondità H; ed è chiusa l'apertura V per la quale si empie di liquido questo vaso. È chiaro che aprendo il robinetto R, il liquido cadrà nel vaso A con una velocità costante; poichè il tubo di comunicazione essendo necessariamente pieno d'acqua finchè dura l'esperimento, e dall'altra parte la pressione atmosferica esercitandosi egualmente in H ed in Q, la sola altezza HQ obbliga il liquido a cadere; e finchè l'estremità H del tubo OH pescherà nel liquido, lo sgorgo del gas per il robinetto R accadrà

con un'eguale rapidità. Se la capacità della parte IIV è sufficientemente grande si potrà escludere tutto il gas del vaso A; e se è troppo piccola, che è il caso più comune, si riempirà continuamente d'acqua.

Per raccogliere il gas basterà avere un secondo gassometro A' B' simile al primo. Supponiamo che il vaso A' sia pieno d'acqua, e che un tubo *tk* per il quale esce il gas peschi nel fondo di questo secondo gassometro: in tal caso l'acqua del vaso A' si trova nel caso dell'esperimento 1.º L'apertura del robinetto E' essendo alla stessa altezza dell'estremità K' del tubo, l'acqua si trova egualmente premuta nei punti K ed E', e quindi non sgorgierà; ma un piccolo eccesso di pressione in K prodotto dalla velocità del gas determinerà l'acqua ad escire per il robinetto E'. Così si voterà il vaso A', e il gas prenderà il posto dell'acqua scacciata.

Il gassometro che abbiamo descritto basta per i gas insolubili. Ne descriveremo un' altro a suo tempo (*Vedi in fine dell'Opera, Calore animale*).

Di alcuni strumenti di uso più comune.

65. Gli strumenti più frequentemente adoptrati nelle ricerche scientifiche, sono il termometro, il barometro, l'igrometro, il microscopio, la macchina pneumatica, la bilancia, il verniero, la vite, il comparatore, e lo sferometro. Della bilancia abbiamo già parlato (§. 33); parleremo in altro luogo dei primi cinque, e qui tratteremo soltanto degli ultimi quattro, che sono principalmente destinati a misurar l'estensione. È inutile nominar qui la riga ed il compasso perchè ben noti ad ognuno.

Il verniero è così detto dal nome del Geometra francese che lo ha inventato. Sia un regolo AB (*f. 8 t. III*) diviso in dieci parti, e si voglia sapere la lunghezza d'una data linea CD: soprapposta questa sul regolo, occuperà un certo numero di divisioni, più una frazione di divisione *gf*; ed appunto questa frazione si cerca di calcolare rigorosamente. A tal fine si costruisce un altro regolo diviso in parti più piccole di quelle del primo, sicchè 10 di queste parti occupano 9 divisioni di quello (*f. 9 t. III*). Soprapposti questi due regoli in modo che due delle loro estremità A, H coincidano, la prima divisione di HK sarà addietro della prima divisione di AB di $\frac{1}{10}$ D (Chiamando D una divisione di AB), la seconda, di $\frac{2}{10}$ D, e così di seguito. Ora si faccia scorrere il regolo HK (*f. 10 t. III*) in modo che la sua prima divisione corrisponda alla prima di AB, È chiaro che la sua ultima divisione HK nel tempo stesso si sarà avanzata di $\frac{1}{10}$ D: essa si avvanzerà pure di $\frac{2}{10}$ D se si applica la seconda divisione di HK sulla seconda di AB. Se ora il punto D del regolo CD cadesse in K, avremmo il valore della frazione *gf* che sarebbe eguale a $\frac{1}{10}$ di divisione. Se il punto D cadesse fra due decimi, si valuterebbe la frazione approssimativamente. Più esatta sarebbe l'operazione se il verniero occupasse un maggior numero di divisioni del regolo AB; ma bisogna

contenersi dentro un certo limite, perchè una troppa minuta divisione renderebbe difficile l'osservare la perfetta coincidenza delle parti,

Questo strumento si applica con egual facilità alle divisioni circolari. In molti casi il verniero striscia ad incastro, lungo il regolo, come si usa nelle tavolette dei barometri, e qualche volta si fissa ad una vite, affinchè il suo moto sia lento ed unito.

Della Vite.

66. La vite si adopra spesso per dividere in parti eguali una lunghezza data, per valutare distanze piccolissime ec. Così si usa per suddividere le grandi divisioni dei tubi termometrici in parti di egual capacità; ma in tal caso si suppone eguale il diametro in tutta la lunghezza di ciascuna gran divisione, che può contenere dieci o più gradi. È necessario che i passi della vite destinata a quest'uso sieno regolarmente e uniformemente distinti (f. 4 t. III). Per verificare questa condizione, si divide in parti eguali la testa circolare CD e se ne riferisce il corso ad un indice fisso AB. Così se la divisione circolare sia di 400 parti, girandola per una di queste parti, si farà avanzar la vite $\frac{1}{400}$ di passo; cioè, per es., di $\frac{1}{400}$ di millimetro, se il passo è un millimetro. Una vite ben fatta percorrerà sempre spazj eguali in egual numero di giri.

Dello Sferometro.

67. La vite disposta in una certa maniera è stata adoprata per misurare la curva de' vetri sferici e la grossezza delle lastre; ed in questa disposizione è stata chiamata *sferometro* (f. 13 t. III). In sostanza, questo non è che la vite precedentemente considerata, posta in una situazione verticale. Lo sferometro è composto di tre braccia d'acciaio orizzontali: alle estremità di esse sono tre aste verticali, parimente d'acciaio, che vanno assottigliandosi in basso, fino a terminare in tre punte *a, a, a*: nel centro è la vite; e questa e le tre punte *a, a, a* posano sopra un piano perfetto di vetro.

Per mezzo di questo strumento si conosce facilmente se una superficie di vetro è piana. Si dispone il tutto in modo, che quando la punta *c* della vite tocca la superficie del vetro, anco le tre punte de' piedi sieno a contatto col piano di vetro, sul quale sta tutto l'apparecchio. Se si faccia strisciare un poco, ci accorgeremo della minima disegualianza della superficie, dalla minore stabilità dell'apparecchio; e dalla natura del suono che produrrà, perchè questo sarà molto diverso da quello che vien prodotto quando le quattro punte *a, a, a, c* posano tutte sul vetro: Se si vuol riscontrare l'eguaglianza di curva di una lente, si mettano a contatto di questo le tre punte e la vite, osservando che la punta *c* sia nel centro di essa; e quindi per mezzo del moto di rotazione dello strumento, apparirà la minima differenza di curva, con i medesimi indizj di sopra. In quanto alla grossezza d'una lastra,

può misurarsi col moto della vite CD; e a tale oggetto si porta la punta *c* a contatto col piano di vetro, e si nota il numero dei giri che deve fare il circolo diviso AB, affinchè la lastra possa esser situata fra il piano di vetro e la punta *c*. Se nell'operazione vi sia da temere che la lastra che si sperimenta venga alterata, si porrà sopra un'altra lastra con le faccie perfettamente parallele.

Questo strumento, quale lo abbiamo descritto, fu inventato dal sig. Cauchois: un altro di forma diversa, ma destinato ad usi analoghi, e chiamato con lo stesso nome, era già stato descritto da L. R. D. (*Journ. de Phys* 1776), il quale lo destinava specialmente per misurare i raggi della curva delle lenti concave e convesse, al qual uso l'hanno pur fatto servire il sig. Rochon e altri fisici.

L'applicazione dello sferometro a questo uso è fondata sopra una proposizione di Geometria; cioè, il seno retto OP (*f. 1 t. III*) è medio proporzionale fra il seno verso AO e la parte OB del diametro compresa fra il seno verso e la circonferenza. Tutto consiste dunque nel misurare il diametro CD e la grossezza EF di un vetro lenticolare (*f. 2 t. III*). Il primo è il doppio del seno retto, ed il secondo il doppio del seno verso. In virtù della stessa proporzione, si avrà OB, e in conseguenza AB doppia del raggio di curvatura della lente.

Del Comparatore.

68. Il comparatore serve a provare l'eguaglianza di due lunghezze, o a riconoscere la loro differenza, se sono diseguali. Questo strumento è composto di un regolo metallico AB forte e dritto (*f. 15 t. III*). All'estremità A è un pezzo che serve d'appoggio per i regoli che si paragonano; un telaio mobile percorre il regolo per tutta la sua lunghezza, e si fissa per mezzo di viti al punto conveniente. A questo telaio è adattato un grosso pernio *a*, intorno al quale gira una leva ad angolo *bac* a braccia molto diseguali. Il moto del braccio *ac* è indicato da un verniero. Or se si vogliono paragonare due regoli, se ne situa uno sul comparatore, in modo che sia appoggiato contro il pezzo A, e si porta il braccio *b* a contatto con l'altra estremità: allora si fissa il telaio, e si nota il punto della divisione circolare ove si ferma l'estremità *c*. Quindi si leva il regolo, e si sostituisce l'altro, senza toccare il telaio, e per mezzo di una molla F si spinge il braccio *b*, e si procura che si applichi esattamente contro il regolo. Se l'estremità *c* corrisponde alla stessa divisione, i due regoli sono eguali, altrimenti son diseguali, e può rilevarsi la differenza. Per es., se l'estremità *c* ha corso per 3 linee, e il braccio *ac* sia dieci volte più lungo del braccio *ab*, la differenza dei due regoli sarà $\frac{3}{10}$ di linea.

DEL CALORE

Spiegazione del Termometro.

69. Un corpo solido presenta una resistenza quando si vuol dividere in parti; la qual resistenza, diversa nei diversi corpi, prodotta dalla coesione, sarebbe sicuramente maggiore, se le molecole fossero soggette a questa sola forza: ma il calore sparso nell'interno di tutti i corpi, tende continuamente ad allontanarne le parti che li compongono, e così equilibra più o meno gli effetti dell'attrazione molecolare. Questa causa ignota dei fenomeni del calore è stata chiamata per lungo tempo col nome di fuoco, e di materia del calore; ma nel tempo della riforma del linguaggio chimico fu chiamata col vocabolo di *calorico*. L'esistenza del calorico considerato come materia particolare è bene incerta. Non pochi fisici di sommo merito hanno anche supposto il calore quale effetto di un movimento interno, il quale determina il ravvicinamento, o lo slontanamento delle molecole secondo le circostanze (Vedi Teoria delle ondulazioni).

Noi adoteremo volentieri il comune vocabolo *calore*, il quale ha il vantaggio di non supporre nè l'una nè l'altra ipotesi. Il calore penetra tutti i corpi, accresce in generale il loro volume a misura che vi si accumula, e ne esce poscia continuamente in forma di raggi. Se due corpi si trovino alla presenza uno dell'altro, accadono tali baratti di calore fra loro, che presto ne resulta l'eguaglianza o l'equilibrio di temperatura. La *temperatura* d'un corpo dipende dalla tendenza che il calore contenuto in esso ha ad escirne; e questa temperatura è più o meno alta, secondo che maggiore o minore è questa tendenza.

70. Sono stati imaginati alcuni strumenti detti *Termometri*, per mezzo dei quali si può misurare la temperatura de' corpi. I fisici non sono di accordo intorno all'autore di tale invenzione; alcuni l'attribuiscono a Galileo, altri all'olandese Drebbel (a). Il Newton nel 1701 vedeva la necessità d'un intervallo costante, e per punti estremi del

(a) Consisteva il termometro di Drebbel in un cannello il quale terminava con una piccola palla piena d'aria. Si introduceva nel cannello una colonna di alcool colorato, si applicava questo piccolo apparecchio sopra una tavoletta divisa, e si giudicava della diversa temperatura dall'ascezione o dall'abbassamento della colonna liquida prodotto dalla dilatazione o restringimento dell'aria contenuta nella palla. I difetti di un tale istrumento si fanno aperto ad ognuno. Gli accademici del cimento formarono un termometro della forma degli ordinari termometri ad alcool; e benchè avessero essi eliminata in siffatto termometro l'influenza barometrica, pur tuttavia aveva esso un difetto cardinale di non avere cioè alcun punto fisso, e di non essere in conseguenza paragonabile nè con sè stesso nè con altri istrumenti costrutti col medesimo metodo.

suo termometro prese l'acqua bollente ed il ghiaccio quando si fonde, e si servi dell'olio di lino. Sembra che anco l'Amontons verso l'istessa epoca prendesse il punto dell'acqua bollente per termine fisso.

Il Réaumur costruì il suo termometro nel 1730: si servi egli di un alcool che ognuno poteva procurarsi del medesimo grado di purità in tutti i tempi, ed in ogni paese, e che dalla congelazione dell'acqua fino al punto del suo massimo riscaldamento senza bollire, si dilatava $\frac{80}{7000}$ del suo volume a zero: inoltre ogni grado della sua scala era la millesima parte della capacità della pallina e del tubo fino a zero. Per graduare il suo termometro si serviva dello stesso metodo con cui oggi si dividono i tubi destinati a misurare i gas, e che consiste nell'empirli successivamente di quantità eguali di mercurio. Ben conobbe le condizioni alle quali deve soddisfare un buon termometro; ma la congelazione artificiale dell'acqua, e la più alta temperatura a cui può arrivare l'alcool senza bollire, non sono termini tanto fissi quanto egli supponeva. Il Deluc ha contribuito molto al perfezionamento del termometro, sostituendo il mercurio all'alcool, e prendendo per punti fissi il ghiaccio quando si fonde e l'acqua bollente.

71. Indichiamo ora la costruzione del termometro quale presentemente si costruisce. Prima di tutto bisogna scegliere un tubo che in tutta la sua lunghezza abbia uniforme il diametro interno. Si versa pertanto una piccola colonna di mercurio nel tubo; e se questo metallo occupa lo stesso intervallo in un punto qualunque, il tubo sarà perfettamente cilindrico: ma di rado si trova questa perfezione in tubi anco di un mezzo piede soltanto. Torna adunque vantaggioso il poter dividere un tubo in parti di egual capacità, e ciò si ottiene introducendovi una colonna di mercurio *mb* che ne riempia più della metà: si fissi da prima una tal colonna ad una estremità del tubo, in seguito si porti in *n* l'estremità della colonna che era in *b* (fig. 21 t. III), quella che era in *m* si troverà in *a* un poco al di là del punto di mezzo. Ora è chiaro che le due porzioni, *ma*, *nb* sono eguali in capacità, e però si troverà il vero mezzo del tubo, dividendo la porzione *ab* in due parti di egual capacità; il quale intervallo è così piccolo che senza errore sensibile può riguardarsene il diametro come eguale in tutta la sua lunghezza. Basterà dunque prender la metà della linea *ab*, e il punto di divisione sarà il vero punto di mezzo del tubo. Si potrà operare nella stessa maniera relativamente a ciascuna metà, e così di seguito; sicchè il tubo intero sarà esattamente diviso in parti di egual capacità. Questo ingegnoso metodo fu proposto dal Gay-Lussac.

Mi sia permesso però di accennare un altro metodo che io ho spesso adoprato. Questo consiste nell'introdurre nel tubo che si vuol graduare una colonna di mercurio eguale ad un decimo in circa della sua lunghezza. Sia *ab* (f. 22 t. III) questa colonna: si segnano con un diamante in modo visibile i punti *a* e *b*, si porti quindi l'estremità *a* in *b*, e l'estremità *b* in *d*: è chiaro che le due parti *ab*, *bd* sono eguali in capacità, e sarà lo stesso di tutte le altre parti ottenute in

questa maniera. Il resto si compie col metodo precedente. Questo processo non è più esatto di quello di Gay-Lussac; ma forse è di più facile esecuzione (a) Molti termometri da me costruiti in questo modo sono riesciti perfettamente concordi fra loro.

Ad una delle estremità del tubo graduato (*f. 25 t. III*) si forma una pallina o un cilindro R, ed all'altra un tubo più largo AB. Si scalda primieramente il tubo in tutta la sua lunghezza per ben prosciugarlo, e quindi per il tubo AB si versa mercurio asciuttissimo: l'aria si condensa per effetto del raffreddamento, e il mercurio cade nel serbatoio; si fa in seguito bollire il mercurio per scacciare totalmente l'aria e l'umido che restano adcrenti alle pareti interne del tubo. Un ordinario fornello con le pareti bucate è opportuno a tale operazione. Quando nel mercurio non vi resta più aria, si fa raffreddare l'apparecchio; si estrae poscia tutto il mercurio del serbatoio superiore, si fa uscire una parte del mercurio del cannello, e vi si lasci un piccolo serbatoio nella parte superiore che si chiude fondendola alla lucerna (*f. 26 t. III*) Questo serbatoio è destinato a ricevere il mercurio nel caso che l'istrumento deve segnar un'alta temperatura.

Se la colonna di mercurio venga a dividersi per l'introduzione di una bolla d'aria, si farà girare il termometro con forza ligandolo nella parte superiore ad una corda, e presto l'aria ritorna nel piccolo serbatoio B. Determiniamo ora i punti fissi della scala di questo istrumento.

Lo zero si ottiene nel modo seguente. S'immerge nella neve o nel ghiaccio pesto tutta la parte del termometro che contiene mercurio; osservando però che la temperatura circostante del luogo di osservazione sia superiore a zero, perchè possa cominciare a fondersi la neve, e quindi dare una temperatura costante; il mercurio di un term-

(a) Il metodo di Réaumur non è applicabile ai tubi di piccol diametro, quelli di Gay-Lussac e del nostro autore sono senza dubbio facili ad eseguirsi, ma a noi sembra più esatto quello posteriormente escogitato dal celebre Bessel. Non potendosi ottener tubi egualmente larghi, o convien ricorrere a divisioni non uniformi ma rispondenti a capacità eguali, ovvero dividere i tubi ad eguali lunghezze, e costruir poscia una tavola di correzione per ogni termometro particolare. Secondo il signor Bessel torna più facile il determinare gli errori dello strumento che farlo da prima esatto; e però chiamando x un qualunque punto della scala, e φx la correzione corrispondente, va egli determinando quest'ultima quantità con tali condizioni che essendo x' , x i punti estremi di una qualunque piccola colonna di mercurio, e $\varphi x'$, φx le rispettive correzioni, la quantità $(x' + \varphi x') - (x + \varphi x)$ sia invariabile qualunque parte del tubo la piccola colonna di mercurio occupi.

metro a serbatoio ordinario finisce di discendere dopo una mezz'ora, e si noti il punto ove si ferma.

Il secondo punto fisso è quello dell'acqua bollente, perchè un termometro che vi si immerga rimane stazionario per tutto il tempo dell'ebullizione, il qual fatto è tanto generale quanto quello della fusione della neve, se non che bisogna indicare alcune precauzioni necessarie ad assicurare l'esatta determinazione di questo punto. E primieramente l'acqua deve essere perfettamente pura: inoltre bisogna che il vaso nel quale si opera sia di metallo, giacchè vetro o porcellana farebbero provare alla temperatura dell'acqua bollente una variazione di uno o due gradi e più ancora. Lo strato in ebullizione non deve oltrepassare i due pollici, affinchè il vapore che si forma nel fondo del vaso non sollevi una piccola colonna. Bisogna inoltre consultare lo stato del barometro, poichè l'acqua non arriva all'ebullizione a 100° se non quando l'altezza del mercurio nel barometro è a $0^m, 76$. Quando quest'altezza è minore o maggiore di $0^m, 76$, la temperatura dell'acqua bollente è inferiore o superiore di 100° . Ma poichè si conosce la variazione della temperatura corrispondente ad un cambiamento dato nell'altezza barometrica, si può sempre col calcolo ridurre il punto dell'acqua bollente alla pressione di $0^m, 76$ (a).

Per eseguire comodamente questa operazione si costruisce un vaso di latta o meglio di rame (*f. 18 t. III*); la parte inferiore AB che

(a) Non essendo sempre in nostro potere il determinare il punto superiore del termometro quando precisamente il barometro segna $0^m, 76$, spesso avviene doverlo determinare sotto una qualunque pressione atmosferica, ed in questo caso è mestieri una correzione affin di ottenere sul termometro stesso il vero punto che corrisponde all'acqua bollente sotto la pressione $0^m, 76$. Ora il signor Wollaston ha dimostrato che $0^m, 027$ di pressione corrisponde ad un grado centigrado; quindi chiamando d la differenza tra $0^m, 76$ e l'altezza barometrica ottenuta sul luogo nell'istesso tempo, g il numero di gradi centigra-

di da aggiungersi o togliersi per avere il vero punto, sarà $g = \frac{d}{0,027}$; e volen-

dosi conoscere a quante divisioni del termometro corrisponde questo valore di g affin di segnare sulla scala precedentemente avuta il vero punto fisso estremo di essa, faremo la seguente proporzione

$100^{\circ} - g : n :: g : x$, nella quale n dinota il numero di divisioni comprese tra i due punti fissi precedentemente determinati, ed x il cercato numero di divi-

sioni da aggiungersi o togliersi secondocchè il valore $x = \frac{g}{100^{\circ} - g}$ n è positivo o negativo.

serve di serbatoio a questo vaso è forata e contenuta in un altro vaso CD di diametro un poco maggiore. Così si conosce il livello dell'acqua; e questo liquido trovandosi in comunicazione diretta con l'atmosfera, non può mai arrivare che alla temperatura della sua ebullizione all'aria libera: a questa prima parte è adattato un tubo HK formato di molti pezzi incastrati fra loro e che possono separarsi a piacere: il termometro viene introdotto per l'apertura O. Dalla sola disposizione di questo apparecchio si vede che il serbatoio e la colonna di mercurio sono interamente immersi nel vapore, l'eccesso del quale esce per le aperture laterali *m*, *n*. Si alzi e si abbassi il tubo ma in modo che il punto ove si ferma il mercurio non oltrepassi che pochissimo il turacciolo a traverso del quale è introdotto e ritenuto il termometro.

E' raro che i due punti fissi corrispondano a divisioni intere, ed è più raro ancora che l'intervallo fra questi due punti sia eguale a 100 divisioni; sicchè bisogna fare una tavola per ogni termometro costruita in questa maniera; supponiamo, a ragion di esempio, che il mercurio si ferma alla divisione 7, 5 nel ghiaccio, ed a 147,8 nell'acqua bollente sotto la pressione $0^m,76$. L'intervallo $147,8 - 7,5$ corrisponderà a 100 gradi. Ogni divisione in conseguenza di questo strumento sarà eguale a $0^{\circ},71$. Se la pressione fosse stata minore o maggiore di $0^m,76$, l'intervallo tra il ghiaccio e l'acqua bollente sarebbe stato più grande o più piccolo di 100° ; per esempio ad una pressione $0^m,75$ l'intervallo sarebbe di $99^{\circ},63$, poichè un'abbassamento di 10^{mm} nella pressione corrisponde ad un'abbassamento di $0^{\circ},37$ nella temperatura dell'ebollizione. Convien quindi dividere $99^{\circ},63$ per $147, - 7,5$ per avere il valore di una divisione in gradi.

72. Per i termometri destinati alle arti ed agli ordinari usi, basta dividere senza precedente gradazione, in cento parti di egual lunghezza l'intervallo fra i due punti fissi compreso. Si tracci la divisione sopra una striscia di carta che si introduce in un tubo più largo il quale vien saldato al tubo termometrico. I gradi al di sopra di zero son presi positivamente, e negativamente quelli al di sotto.

73. Questo termometro quale lo abbiamo descritto è conosciuto sotto il nome di *termometro C* ossia *centigrado*. Se l'intervallo compreso fra il ghiaccio e l'acqua bollente è diviso in 80 parti, si avrà il termometro *R*, comunemente detto *termometro di Réaumur*. Questi due termometri si usano generalmente in Francia, in Spagna ed in Italia.

Il termometro usato in Inghilterra ed in Germania è diviso diversamente. Questo è pure a mercurio, e fu proposto dal Fahrenheit nel 1724. Esso ha per termini fissi il calore dell'acqua bollente e il freddo prodotto da una mescolanza di parti egualidi sal marino e di neve. L'intervallo compreso fra questi due punti è diviso in 212° , ed il 32^{mo} grado corrisponde al ghiaccio in fusione.

Ma lo zero di questo termometro ha qualche grado d'incertezza; poichè vedremo all'articolo dei freddi artificiali che è necessaria la

combinazione di molte circostanze, perchè una mescolanza frigida produca il medesimo grado di freddo in due operazioni diverse. Nel costruire però un tal termometro in Germania seguono oggi lo stesso metodo indicato, e segnano con 32 il punto del ghiaccio quando si fonde, e con 212 il punto dell'acqua bollente.

Il termometro usato nei paesi settentrionali non differisce dal centigrado che in quanto alla divisione. Esso è a mercurio; la temperatura dell'acqua bollente è segnata con 150, quella del ghiaccio con zero. La divisione proposta dal Delisle nel 1733, la quale non aveva che un punto fisso, cioè quello dell'acqua bollente, non è più in uso.

Spesso è utile il tradurre nel linguaggio del nostro termometro i risultamenti di osservazioni fatte con gli altri termometri. Ciò è facilissimo, giacchè 80° gradi *R.*, 180° *F.*, e 150° di Delisle corrispondono a 100 gradi *C.*, basterà dunque una semplice proporzione per ottenere la trasformazione voluta. Per esempio, se si vogliano ridurre 65 gradi *R.* in gradi *C.*, si avrà $80 : 100 :: 65 : x = 65 \times \frac{100}{80} = 81,25$ *C.*

E' necessario toglier prima 32 dal numero dei gradi *F.*, poichè il zero centigrado corrisponde precisamente ad un tal grado; così per sapere a quel grado *C.* corrisponde il 115^{mo} *F.*, si farà la proporzione $212 - 32 : 115 - 32 :: 100 : x = 46,11$ *C.*

Non sarebbe necessaria la sottrazione se si domandasse quanti gradi centigradi valgono un certo numero di Farenheit, per es. 17; si farebbe la proporzione

$$180 : 17 :: 100 : x$$

Le più semplici nozioni di calcolo bastano bene a farne risolvere tutti i casi particolari che si possono presentare.

74. E' inutile dimostrare col calcolo perchè due termometri della medesima scala, e con differenti masse di mercurio debbano andare d'accordo; poichè la dilatazione per ogni grado essendo la centesima parte di quella che avviene da zero all'acqua bollente, i due termometri esposti alla sorgente medesima di calore indicar debbono il medesimo numero di gradi.

75. Bellani nell'Italia, e Flaugergues in Francia han successivamente riconosciuto i cambiamenti cui va soggetto col tempo il zero del termometro, la qual cosa dipende dall'essersi molto riscaldata la palla nel tempo della costruzione di un simile strumento, e poscia col contatto dell'aria aver ripreso a poco a poco il volume che deve prendere.

Un'osservazione da me fatta non ha guari, dimostra la necessità di verificare il zero del termometro quando trattasi di esperienze esatte, poichè si vede esso montare se questi istrumenti si mantengono per qualche tempo ad una bassa temperatura, discendere se si mantengono ad una temperatura elevata, e riprendere dopo un certo tempo la primitiva posizione. Questa considerazione riguarda tanto i vecchi che i nuovi termometri.

Termometro ad aria.

76. Raramente questo termometro si adopra nelle esperienze. Vien esso costruito empiendo di aria secca un tubo, separando l'interiore dall'aria esteriore con una piccola colonna di mercurio (f. 28 t. III) e poscia graduando il tubo come il termometro a mercurio. La necessità di tener conto della variazione della pressione atmosferica, e dare a questo istrumento molta lunghezza fa sì che solo viene adoprato in qualche caso. Utilissimo in fatti torna, a cagion della sua grande sensibilità, a farne conoscere la costanza o variabilità della temperatura di una stanza, per il che è bastevole di paragonarne l'andamento a quello di un buon termometro a mercurio nell'intervallo di alcuni gradi. Per compiere la teoria del termometro, e de' diversi pirometri destinati ad elevate temperature, vedi la fine dell'articolo delle dilatazioni, come ancora le addizioni nelle quali mercè de' calcoli si stabilisce il paragone del termometro ad aria con quello a mercurio, paragone necessario, posta la variazione del coefficiente di dilatazione di questo metallo.

Termometro differenziale.

77. Vi sono dei casi ne' quali il termometro, quale noi lo abbiamo descritto non può servire. Per esempio quando vuolsi misurare il calore riunito per mezzo della riflessione nel fuoco di uno specchio, le indicazioni del termometro ordinario sensibile alle variazioni del mezzo circostante, sarebbero inesatte. Il Sig-Leslie ha imaginato un'istrumento che egli chiama *termometro differenziale* il cui andamento è indipendente dalla temperatura del mezzo che lo circonda, ed ha la forma di un U (fig. 9 t. III) le braccia del quale son terminate da palline, delle quali una vien chiamata *palla focale* perchè occupa il fuoco dello specchio riflettore. Questa palla, essendo riscaldata, l'aria interiore si dilata, e spinge verso l'altra palla una colonna di acido solforico colorato. Si gradua questo termometro fissando una certa differenza, per es. di 10 gradi centigradi, fra le temperature delle due palle; e a tal fine si involupa ciascuna palla d'una specie d'imbuto di rame, si fa segnare alla palla focale 10° più dell'altra, e si divide lo spazio percorso da ciascuna estremità della colonna liquida in dieci parti o gradi. Lo zero della scala corrisponde alle due estremità della colonna quando le palle sono ad egual temperatura. Ben chiaramente si vede potersi rendere questo istrumento più o meno sensibile.

Il *termoscopio* del Sig. Rumford (fig. 20 t. III) non è che il termometro differenziale a più grandi dimensioni, e noi ben presto esporremo alcune esperienze nelle quali sono stati adoprati simili istrumenti.

Vedi tra i fenomeni termo-elettrici i molti istrumenti che possono vantaggiosamente esser surrogati al termometro differenziale.

Termometro a massimo ed a minimo.

78. Si conoscono molti istrumenti di questo genere; quello di Rutherford è rappresentato dalla (*fig. 11 t. III*), e consiste in due termometri ricurvi. Il primo *a b c* è a mercurio, il secondo *e f g* ad alcool colorato di carminio. I tubi *b c* ed *f g* sono orizzontali quando l'istrumento si adopra per l'esperienze. L'indice del termometro a massimo è un piccolo cilindro di acciaio *d*, tale da scorrere senza sfregamento dentro del tubo vòto. Quest'indice viene spinto dalla colonna di mercurio quando la temperatura si eleva, e resta in riposo quando diminuisce, e però la posizione dell'indice indica la più alta temperatura alla quale l'istrumento sia arrivato.

L'indice del termometro a minimo è un piccolo cilindro di smalto che scorre liberamente nel tubo, che non è spinto dal liquido dilatandosi, e che vien tirato dalla colonna liquida quando essa si contrae. Quest'indice adunque disegna la minima temperatura. Quando si vuol fare un'esperienza è necessario rialzare in modo l'istrumento da rimenare i due indici alla estremità delle colonne liquide corrispondenti, per il che il cilindro di smalto penetra nel liquido, quello di ferro resta fuori.

I Sigg. Six e Bellani in seguito han dato al termometro a massimo ed a minimo una nuova forma. Veggasi (*f. 12 t. III*). Il serbatoio *A* ed una parte del tubo sino ad *h* sono pieni di alcool, il tubo *hmk* è pieno di mercurio, e la palla *B* è parte piena d'aria e parte di alcool, Il liquido scende fino a *k*. Quando la temperatura si eleva l'alcool di *A* si dilata, e spinge la colonna di mercurio verso la palla *B* l'aria della quale si lascia comprimere. Al contrario, quando la temperatura diminuisce, l'alcool di *A* si contrae, l'aria di *B* per la sua elasticità spinge la colonna verso *h*. Per il che il braccio del lato *A* indicherà le temperature massime, e quello del lato *B* le temperature minime. Questi istrumenti vengon graduati comparandoli ad un termometro a mercurio, p. e. immergendoli successivamente nell'acqua a 0° ed a 30°, e prolungando poscia la scala per mezzo di un compasso. I due indici *d*, *d'* son formati da cilindri di ferro messi in involuppi di vetro strozzati ed appianati agli estremi. Un capello *lm* forma una specie di anello elastico il quale ritiene l'indice quando non è spinto dal mercurio. Quando si voglion fare esperienze, si portano ambedue gl'indici, mediante una calamità, alla superficie del mercurio. La figura ne dispensa dalle spiegazioni.

Il termometro a massimo proposto dal Gay-Lussac differisce totalmente da' due precedenti. Noi rimandiamo i nostri lettori all'articolo che tratta della *temperatura dei mari*, in cui si troverà la descrizione di questo istrumento, e di uu' altro da noi proposto.

Proprietà generali del calore raggianti.

79. 1° Il calore emana da tutt' i corpi in forma di raggi; di che possiamo assicurarci situando intorno ad un corpo caldo, in qualunque situazione, un termometro sensibile, il quale manifesta colla dilatazione del liquido la presenza del calore; nè un tale effetto può dirsi comunicato dal mezzo circostante, poichè una simile trasmissione avviene anche nel vòto, e produce ad eguali distanze effetti eguali qualunque sia la posizione del termometro.

È necessario notare che nell'aria, il termometro situato al di sopra del corpo si eleva di più, ricevendo ad un tempo il calore dal raggiamiento del corpo, e dal contatto dell'aria; poichè la parte di questo fluido che trovasi a contatto del corpo monta per la sua leggerezza.

2° Il calore si riflette come la luce facendo l'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione. Per mettere in evidenza questa proprietà si collocino due specchi sferici concavi l'uno in faccia l'altro di modo che abbian comune il loro asse.

Per comprendere facilmente questa sperienza bisogna sapere che il fuoco di uno specchio sferico è alla metà del raggio, però uu raggio luminoso mm' (f. 31 t. III) cadendo in m parallelamente all'asse de due specchi si riflette, e passa pel punto F metà del raggio BC : Avviene medesimamente di ogni altro raggio parallelo all'asse BB' . Misurandosi gli angoli FmC e $m' m C$ si trovano perfettamente eguali, nondimeno poichè l'effetto di un corpo caldo locato 'al fuoco F' del secondo specchio si concentra quasi totalmente al fuoco F del primo, è mestieri che nella sua riflessione il calore faccia un'angolo eguale a quello di incidenza. Una diretta trasmissione non è causa del riscaldamento del corpo freddo, imperocchè messo in un'altro luogo H più vicino al corpo caldo n 'è riscaldato assai meno. Quest'esperienza è antichissima; Mariot nel 1717 ne aveva già fatto menzione nel suo trattato de'colori. Dufay nel 1726 mostrò che in questo modo possono infiammarsi i corpi compustibili alla distanza di più di 50 piedi; che il calore attraversa questo intervallo in un istante incalcolabile. Noi citeremo un'esperienza di Sir. H. Davy la quale può eseguirsi nel vòto, e consiste nel riunire le due estremità di una pila Voltaica (vedi la pila) con un pezzo di carbone messo al fuoco di uno specchio $m n$ (f. 16 t. III). Tosto il carbone diviene incandescente, e riscalda un termometro sensibilissimo, il serbatoio del quale a occupa il fuoco di un secondo specchio $m' n'$. La posizione del corpo caldo non permette che si attribuisca al movimento dell'aria l'effetto prodotto sul termometro, poichè il fluido a misura che diventa più caldo diventa più leggero, ed in conseguenza tende a levarsi. D'altra parte è facile fare il vuoto nel largo tubo che chiude siffatto apparecchio. (elementi di Chim. filo. vol. 1).

3° *L'intensità del calore è nella ragione inversa del quadrato della distanza.* Dall'esperienza si fa aperto decrescere l'intensità ra-

pidamente, ma torna facile il chiarire la legge del decrescimento se si supponga un corpo caldo nel centro di molte sfere concentriche; ciascuna di queste sfere presa isolatamente riceverà nella superficie la stessa quantità di calore, e poichè le superficie sferiche sono proporzionali ai quadrati de' loro raggi (distanze del corpo caldo dalle loro superficie) ne risulta che l'intensità del calore sopra ciascheduna di queste sfere sarà in ragione inversa del quadrato del suo raggio, o del quadrato della distanza del corpo caldo: ecco quanto si voleva dimostrare.

80. Tutti i corpi lasciano penetrarsi dal calore raggiante; il calore nell'interno delle sostanze diafane ha originato ingegnose ricerche delle quali noi qui presenteremo i principali risultati.

Laroche non ha molti anni ha dimostrato come il calore attraversa il cristallo con tanta facilità quanto più la temperatura della sorgente è elevata, e questa legge che per tutte le sostanze diafane avrebbe potuto credersi generale deve essere verificata dopo le ricerche del Sig. Melloni (Ann. di Chi. e Fisi. tom. 53, 54).

Il sale gemma in lame sottili o doppie lascia passare la stessa porzione d'ogni specie di calore sia qualsivoglia l'origine.

Ogni altra sostanza diafana segue la legge di Laroche quanto non sia ridotta in lame sottilissime, perocchè in questo caso trasmette la stessa proporzione di calore qualunque sia la sorgente. Fatto il saggio, di 30 sostanze, nessuna, ad eccezione del fluato di calce e del sale gemma, lascia passare il calore raggiante dei corpi a 100° (A).

(A) Vedi alcuni risultati

LAMINE DI 0 ^{mm} , 6	TRASMISSIONE SU 100 RAGGI			
	Lampade di Locatelli	Platine incandescente	Rame riscaldato a 390°	Rame riscaldato a 100°
Sal gemma (diafano incolore)	92	92	92	92
Sal gemma (fosco , diafano)	65	65	65	65
Calce fluata (diafana incolore)	78	69	42	33
Cristallo di rocca (diafano incolore) .	38	28	6	0
Acido citrico (diafano incolore) . . .	11	2	0	0
Allume (diafano incolore)	9	2	0	0
Ghiaccio purissimo	0	0	0	0

La lampada di Locatelli impiegata nelle esperienze è a semplice corrente d'aria, e priva di vetri, di modo che il calore che ne emana non vien modificato da una trasmissione prima di assoggettarsi all'esperienza.

Laroche ha riconosciuto eziandio che il calore il quale ha attraversato una lamina di cristallo è più proprio ad attraversarne una seconda, e la perdita tanto diventa minore quanto il calore ha già attraversato una più grande doppiezza. Il Sig. Melloni ha verificato questo fatto con moltiplicate esperienze.

Il calore trasmesso da una seconda lamina dipende del pari dalla lamina di già attraversata. Così supponendo che l'effetto prodotto dal calore trasmesso a traverso una lamina di acido citrico sia di 30° , e che questo calore sia ricevuto da una lamina di allume, non avrà che tre o quattro gradi di diminuzione; sostituendo all'acido citrico un'altra sostanza, e disponendo l'apparecchio in modo da avere circa 30° , la perdita nel passaggio a traverso l'allume sarà molto più grande.

Il calore trasmesso da una lamina diventa più o men proprio ad essere riflettuto sulle superficie bianche o nere (Sig. Powell).

La trasparenza pel calore differisce totalmente da quella per la luce; così il quarzo affumigato lascia passare cinque volte più di calore che il più trasparente al lume; per la qual cosa il Sig. Melloni propose che si chiamassero *diatermani* i corpi che facilmente lasciano passare il calore, ed *atermani* quelli che lasciano passarli difficilmente. I metalli sono atermani, nondimeno in piccola doppiezza debbono essere diatermani, senza di che non sarebbe ben concepibile il decremento dell'intensità del calore emesso o riflettuto sotto alcune obliquità più o meno grandi. Il legno non è completamente atermano: una tavola di abete di $\frac{7}{8}$ di pollice lascia passare $\frac{1}{2}$ del calore che cade sulla sua superficie (Leslie).

Il calore raggianti può attraversare grandi doppiezze di un corpo cristallizzato, così l'effetto prodotto attraverso una lamina di spato d'Islanda di 2^{mm} , 6 essendo di 21° , 8 è ridotta a 18° , 5 da una lamina di 90^{mm} . Una lamina di sale gemma di 3^{m} , o di 80^{mm} lascia passare la stessa quantità di calore.

Prima si è pensato che il calore raggianti si arrestasse alla prima superficie, poi man mano si propagasse, il che ne' corpi opachi deve aver luogo, ma non avviene così poichè il calore raggianti attraversa uno strato d'acqua di cui le parti son continuamente rinnovate (Prevost), e poichè coprendo di negrofumo la faccia anteriore di una lamina diafana, si ottiene un effetto molto minore che quello che si ha da una lamina nuda (Laroche).

Già le esperienze di Laroche lo avevano condotto ad ammettere molte specie di raggi di calore inegualmente trasmissibili. L'allontanamento del massimo calore dello spettro da sostanze di differente nature, avevano fatto credere che i corpi diafani non colorati esercitassero sul calore solare un'assorbimento analogo a quello che i mezzi

trasparenti colorati esercitano sopra i diversi raggi di luce, cioè che i mezzi non colorati trasparenti arrestano alcuni raggi, ed alcuni lasciano passarne.

Il Sig. Melloni col termomoltiplicatore di Nobili da lui medesimo regolarizzato fece non ha guari gran numero di esperienze, le quali sembrano confirmare questa proposizione, cioè, che il calore oscuro è composto di diversi raggi che hanno in differenti gradi la proprietà di essere trasmessi da sostanze diafane. Il calore raggianti si rifrange come si dimostra coll'aiuto di una lente di sale gemma; la variazione della sorgente sembra che faccia variare la refrangibilità.

81. L'inclinazione della superficie rapportandosi ad una direzione determinata de' raggi calorifici ha medesimamente una influenza sulla intensità dell'effetto prodotto. Leslie prima di tutti ha riconosciuto per esperienza che l'azione di una superficie raggianti è proporzionale al seno dell'angolo formato da questa superficie colla direzione de' raggi emessi. Per provare questa proprietà del calore raggianti mettesi a rimpetto di uno specchio concavo un cubo pieno d'acqua ad una determinata temperatura, misurando l'effetto prodotto sulla palla focale di un termometro differenziale posto al fuoco dello specchio medesimo; inclinando quindi il cubo, facendolo girare sopra una linea che passi pel suo centro e sia perpendicolare all'asse dello specchio, si osserverà che qualunque sia l'inclinazione, l'effetto sul termometro differenziale è lo stesso. Bene inteso che ad ogni posizione della superficie bisogna rimettere il cubo ed il termometro nello stesso stato che erano al principio della prima esperienza, ed ancora che la superficie calda sia molto estesa affinchè la sua proiezione sullo specchio copra sempre completamente l'apertura di un tramezzo situato d'irimpetto allo specchio. Risulta da questa esperienza che in generale il potere raggianti di una superficie valutato in una certa direzione è eguale a quello della sua proiezione sopra una superficie perpendicolare alla direzione medesima. Così l'azione calorifica della superficie poligonale o della mezza sfera ACDB (f. 29 t. III) è eguale a quella della faccia piana AB nella direzione TL (A).

82. Lo stesso corpo portato alla stessa temperatura non sempre emette l'istessa quantità di calore, e quanto meno ne emette tanto è più proprio a riflettarla, per lochè il potere emissivo del ferro imbrunito è debole, mentre il potere riflettente è considerabile. Addi-

(A) Sia AC' (fig. 30 t. III) la faccia perpendicolare alla direzione HK dei raggi, CD la faccia inclinata; la porzione della faccia CD che riscalda lo specchio è alla porzione della faccia AC' che produce il medesimo effetto come 1 è al sen. C'DF o sen. D'OK. E' necessario dunque che l'intensità del calore che parte da CD nella direzione HK, sia all'intensità del calore partito dalla faccia perpendicolare AC' come sen D'OK è ad uno; i poteri raggiunti r ed r' di due

viene il contrario pel ferro arrugginito. In seguito ritorneremo su questo soggetto.

Pare che l'azione ripulsiva del calore che produce la dilatazione, dopo l'esperienze del Sig. Fresnel, si esercita del pari a distanze sensibili. Lo studio de' seguenti capitoli farà conoscere altre proprietà del calore.

Delle dilatazioni.

83. Tutti i corpi cambian di volume al cambiare di temperatura. Le variazioni delle dimensioni de' corpi hanno nelle esperienze una influenza di cui è mestieri aver conto; e però l'esatta conoscenza di esse costituisce uno degli oggetti i più importanti della fisica; senza questa conoscenza ben imperfetta idea si'avrebbe del termometro, e della più parte de' numerosi fenomeni che offre la storia del calore; per il che porremo gran cura allo studio delle dilatazioni, esponendo primamente i processi mercè i quali vengono determinato, e menzionandone poscia le applicazioni principali.

superficie facendo colla direzione HK gli angoli a, a' saran dunque nel rapporto diretto de' seni di questi angoli, cioè si avrà

$$r : r' :: \text{sen. } a : \text{sen. } a',$$

e quindi $r \text{ sen. } a' = r' \text{ sen. } a$. Se una delle facce, per es. AC' è normale alla direzione HK, si avrà $r' = r \text{ sen. } a'$, r essendo l'intensità del calore emesso da AC'.

L'angolo DOK è complemento di KOL formato dalla normale OL alla faccia raggianti e la direzione HK. La precedente relazione può dunque mettersi sotto questa forma $r' = r \cos KOL$.

Il Sig. Fourier ha dimostrato d'altra maniera il teoroma, poggiando i suoi ragionamenti su questo fatto, cioè che il calore raggianti parte da una certa profondità, come risulta da esperienze che noi farem conoscere.

Supponiamo che venga descritta, facendo centro l'elemento mn (f. 17 t. III) una sfera che abbia per raggio la distanza alla quale le molecole interiori partecipano al raggiamento. Immaginiamo due piccoli cilindri $mnvu$ ed $mnpq$; questi cilindri hanno la medesima altezza; e però un filo di molecole avrà la medesima azione in ambedue i cilindri, ma la quantità del filo di molecole del cilindro inclinato $pqmn$ sarà alla quantità del cilindro $vummn$ come $mn' : mn, o :: mn \times \cos. nmn' : mn o :: \cos. nmn' : 1, o :: \cos. a : 1, o :: \text{sen. } a' : 1$.

Dimaniera che l'essendo l'intensità del raggiamento di mn nella direzione normale mk , e i' l'intensità nella direzione inclinata mr , si ha

$$i' = i \cos a = i \text{ sen. } a'.$$

Dilatazione de' gas.

84. Daremo principio dai gas come quelli che presentano nelle loro dilatazioni grande regolarità. Tutti si dilatano nella medesima maniera, e della medesima quantità. Per determinare precisamente questa dilatazione bisogna conoscere il volume sottomesso all'azione del calore. Perciò prenderemo un tubo graduato simile a quello del termometro saldandovi una palla o un cilindro. Trovata la capacità della palla, e quella di una divisione del tubo, pesando il piccolo apparecchio vuoto da prima, poi sino alla prima divisione pieno di mercurio, ed in fine completamente pieno dello stesso metallo; si ha cura di far bollire il mercurio per cacciare l'aria e l'acqua che potrebbero essere attaccate alle pareti del vetro. Sia p il peso dell'apparecchio vuoto, p' il peso dell'apparecchio pieno di mercurio sino alla prima divisione, $p' - p$ sarà il peso del mercurio contenuto nella palla: sia p'' il peso dell'apparecchio totalmente pieno di mercurio, $p'' - p'$ rappresenterà il mercurio che si racchiude nel tubo dopo la prima divisione; e se n è il numero delle divisioni, $\frac{p'' - p'}{n}$ sarà la quantità di mercurio conte-

nuta in ogni divisione. Per questa operazione si può dunque ottenere il rapporto tra la capacità di una divisione del tubo, e quella della palla presa sino alla prima, o a qualsivoglia divisione. L'aria sottoposta all'esperienza dev'essere dissecata perfettamente (A); tanto si ottiene fissando al tubo pieno di mercurio un'altro tubo più largo pieno di cloruro di calce fuso (*f. 24 t. III*). Si capovolga il piccolo apparecchio e si scuota, cadrà il mercurio, entrerà l'aria nel tubo dissecata pel suo passaggio sul cloruro; bisogna fare in modo che rimanga nel tubo una piccola colonna di mercurio, da restare poco distante dalla palla quando questa si immergerà nel gelo: con poca di pratica facilmente si giunge a questo risultato. Per un'altro gas, bisognerebbe vuotar l'apparecchio sopra una campana piena dello stesso gas collocata sopra una vasca di mercurio. Nondimeno rimane solamente di portare il gas a differenti temperature, per la qual cosa, si pone il tubo orizzontalmente in una cassa di latta, prima piena di ghiaccio, poi d'acqua a 10°, a 20° ec. sino a 100°. Si abbia cura in ogni operazione di immergere il tubo sino all'indice m . La temperatura dell'acqua è data da molti termometri. Si vede facendo questa

(A) Se il gas non fosse innanzi dissecato, il vapore che conterrebbe si depositerebbe in parte a modo di ghiaccio allorchè la cassa sarebbe alla temperatura 0°, ed il ghiaccio medesimo si ridurrebbe in vapore ad una temperatura più elevata. Per il che si potrebbe attribuire alla dilatazione del gas l'effetto della riduzione dell'acqua in vapore.

esperienza con qualunque gas, che l'indice cammina di un'egual numero di divisioni per un medesimo numero di gradi. La dilatazione dunque è una stessa frazione del volume a zero.

La dilatazione così ottenuta non è che la dilatazione apparente, poichè non si tien conto dei cambiamenti di capacità del vaso; questa correzione in vero, può trascurarsi essendo la dilatazione del gas grandissima a fronte di quella de' solidi, ma ciò malgrado noi vedremo in seguito che bisognerà aggiungerci alla dilatazione apparente la dilatazione dell'involuppo per avere la dilatazione assoluta.

Questo processo fu messo in opera, ad un di presso nel medesimo tempo dal Sig. Dalton in Inghilterra, e Gay-Lussac in Francia: il primo trovò 0,00372, ed il secondo 0,0075 per la dilatazione corrispondente a ciascun grado centigrado. Il numero del Gay-Lussac il quale si accorda con quello dato dall'astronomo Tobia Mayer, per l'aria, pare che sia il vero numero. Il numero 0,00375 o $\frac{1}{267}$, esprimendo la frazione del volume a 0°, del quale si dilata un volume di gas per un grado centigrado, è quel che si chiama il coefficiente di dilatazione.

L'aria umida nello stesso apparecchio si dilata come l'aria secca; il vapore di etere solforico messo in un tubo graduato accanto ad un simile tubo contenente un egual volume di aria secca si dilata come quest'ultimo fluido: in conseguenza di ciò è probabilissimo che ogni vapore abbia il medesimo coefficiente di dilatazione che i gas permanenti. Per queste ultime esperienze tale deve essere la temperatura che il vapore non cambi di stato. Il Sig. Charle aveva provato da gran tempo la eguale dilatazione de' gas, come lo dichiara il Sig. Gay-Lussac nella sua memoria; ma non si era occupato de' gas solubili, nè dell'estensione della dilatazione. I precedenti risultati furono confirmati dalle ricerche de' Sig. Dulong e Petit, i quali si sono assicurati che la stessa uniformità di dilatazione si sostiene nell'intervallo di -36° a $+300^{\circ}$. Il Sig. Humphry Davy ha provato che il coefficiente della dilatazione dell'aria non si cambia nè per la rarefazione nè per la condensazione di essa.

Le nozioni precedenti bastano per mettere un'attento lettore nel caso di fare sui gas, tutte le correzioni dipendenti dai cambiamenti di temperatura.

1° Esempio: *Portare a 45° un volume di 35lit., 55 d'aria presa a zero.* Un volume qualunque si dilata di 0,00375 per ciascun grado; 35lit., 55 da 0° a 45° si dilateranno di $0,00375 \times 45 \times 35,55$ il che farà 5lit., 999 per la totale dilatazione, la quale aggiunta al volume 35lit., 55 dà 41lit., 349 per il volume dilatato a 45 gradi.

2° Esempio: *Ridurre a zero un volume di aria di 153lit., 27 presa a 36°, 5.* Come il coefficiente di dilatazione 0,00375 è relativo al volume a zero, così non possiamo riferirlo che a quest'ultimo volume. Supponiamolo dunque noto e rappresentato da V: da zero a 36°, 5 verrebbe esso aumentato di $V \times 0,00375 \times 36,5$ e diverrebbe $V \times 1,137$;

ma si è supposto eguale a 153,27, dunque bisogna dividere 153,27 per 1,137 se si vuole il volume a zero; ed eseguendo il calcolo, si troverà 134 lit., 802.

3° Esempio: *Ridurre a 36°, 25 il volume 83 lit., 547 preso a 11°, 23.* Primamente si cerchi il volume a zero praticando come nell'esempio secondo; si vede che bisogna dividere 83,547 per $1 + 0,00375 \times 11,23$, o per 1,042, il che dà 80 lit., 179. E in seguito necessario per portare quest'ultimo volume a 36°, 25 far la medesima operazione del primo esempio, cioè moltiplicare per $1 + 0,00374 \times 36,25$, o per 1,136; si troverà 91 lit., 083 (B).

Tutte le quistioni riguardanti i volumi de' gas si comprendono nei tre esempi precedenti

Dilatazione assoluta de' liquidi.

85. La dilatazione de' liquidi, e de' solidi non offre punto la semplicità che noi abbiain trovata in quella de' gas; ciascuno de' primi ha un *particolare coefficiente di dilatazione*, ed il numero che l'esprime cresce colla temperatura. Facil cosa sarebbe il determinare le dilatazioni de' liquidi, se potessimo procurarci un vaso trasparente, e che conservasse la capacità medesima a tutte le temperature; basterebbe allora formare col liquido un termometro, e portarlo a differenti temperature; ma poichè sieno trasparenti o opache le sostanze, varian sempre di volume al variar di temperatura, così fa mestieri ricorrere ad un processo il quale ne dia la dilatazione de' liquidi indipendentemente dai mutamenti della capacità del vaso che li contiene. I Sig. Dulong e Petit (An. Chim. e Phy. t. 7) han seguito un metodo di cui la prima idea devesi a Boyle, e che adempie a questa condizione; esso si poggia sul principio idrostatico, che le altezze di due colonne liquide in comunicazione mediante un tubo laterale, sono in ragione inversa delle densità (n.° 42): di modo che circondando di ghiaccio una delle colonne, e portando l'altra ad una temperatura conosciuta, e misurando l'altezza di ciascuna colonna, si ha tutto che è necessario per conoscere la dilatazione assoluta del liquido sot-

(B) Se V è il volume del gas ad una temperatura t , e che vogliamo ridurre alla temperatura t' , si fa aperto dagli esempi di sopra addotti che primamente il volume a zero si ottiene dividendo V per $1 + 0,00375 t$. E moltiplicando il risultato per $1 + 0,00375 t'$ si ha $V \frac{(1 + 0,00375 t')}{(1 + 0,00375 t)}$ pel volume dimandato alla temperatura t' . Se $t = 0$, la formola diventa $V (1 + 0,00375 t')$, ed abbiamo il primo caso; se $t' = 0$, essa diventa $\frac{V}{1 + 0,00375 t}$ e si ha il secondo.

tomesso all'esperienza, come si può conoscere con un calcolo semplicissimo (A).

Le altezze delle colonne erano determinate mediante un cannocchiale fatto muovere lungo una riga verticale ben fissa.

La temperatura era conosciuta per un termometro ad aria, ed uno a mercurio sensibilissimo.

I risultati dell'esperienza mostrano pel mercurio la legge generale che già noi abbiamo annunziata sull'accrescimento del coefficiente di dilatazione colla temperatura.

(A) Se h , ed h' disegnano le altezze delle colonne alle temperature o e t , d e d' le densità corrispondenti; si ha

$$h : h' :: d' : d$$

Ma d e d' sono in ragione inversa de' volumi V e V' che occuperebbe una medesima massa di liquido alle temperature o e t ; si ha dunque :

$$d' : d :: V : V'.$$

Dal che $h' : h :: V' : V$, e quindi $\frac{h' - h}{h} = \frac{V' - V}{V}$. Or $\frac{V' - V}{V}$

esprime la dilatazione del liquido nell'intervallo della temperatura t , e per l'unità di volume, e siccome questa espressione è eguale a $\frac{h' - h}{h}$, e le altezze h'

e h sono indipendenti dal cangiamento di volume del tubo durante l'esperienza,

così deve avvenire lo stesso di $\frac{V' - V}{V}$; $\frac{h' - h}{h}$ rappresenta quindi il coefficiente della dilatazione assoluta del liquido.

Temperature del termometro ad aria	Dilatazioni cubiche assolute medie del mercurio	Temperature indicate dalla dilatazione del mercurio supposta uniforme
0	0	0
100	$\frac{1}{5550}$	100
200	$\frac{1}{5425}$	204,61
300	$\frac{1}{5300}$	314,15

La prima colonna contiene le temperature dedotte dalla dilatazione dell'aria (vedi più avanti).

La seconda chiude le dilatazioni assolute del mercurio, tra 0 e ciascuna delle temperature indicate nella 1^a colonna.

La terza comprende le temperature ottenute nella supposizione di una dilatazione uniforme.

La dilatazione del mercurio determinata dalle precedenti esperienze pare che niente lasci a desiderare; essa è alquanto più debole che la dilatazione $\frac{1}{5418}$ trovata da' Sig. Lavoisier e Laplace.

La conoscenza della dilatazione del mercurio è indispensabile in un gran numero di esperienze, e particolarmente nelle osservazioni barometriche. Ella ci sarà utile ancora più innanzi per determinare la dilatazione del vetro, ed in conseguenza quella di differenti metalli. Noi qui aggiungeremo una tavola di dilatazioni, i risultati della quale, sono utilissimi a conoscere quantunque non abbiano una grande precisione.

Tavola della dilatazione di molti liquidi per l'intervallo di 0 all'acqua bollente.

Acqua	$\frac{1}{812}$
Acido idroclorico (den. t.à 1, 137)	$\frac{1}{117}$
Acido nitrico (den. t.à 1, 40)	$\frac{1}{9}$

Acido solforico	(den.tà 1, 85)	$\frac{1}{1.7}$
Alcool	(den.tà 0, 817)	$\frac{1}{2}$
Etere solforico		$\frac{1}{1.4}$
Olj di oliva e di lino		$\frac{1}{1.8}$
Essenza di terebinto		$\frac{1}{1.4}$
Acqua saturata di sal marino		$\frac{1}{2.5}$

86. Il Sig. Gay-Lussac ha fatto ultimamente soggetto delle sue ricerche la dilatazione de' liquidi, sottoponendo alle sue esperienze l'acqua pura, l'alcool, l'etere solforico, ed il solfuro di carbone. Siffatti liquidi erano perfettamente purificati. Egli ha supposto il volume di ogni liquido rappresentato da 1,000 al punto di ebollizione, ed ha valutato il volume corrispondente alle temperature inferiori. Risulta da queste esperienze che la contrazione di ogni liquido diminuisce secondo che venga allontanato dal punto di ebollizione, che l'alcool ed il solfuro di carbone egualmente si dilatano, e poichè secondo l'osservazione del Gay-Lussac, questi due liquidi portati alle temperature rispettive della loro ebollizione, producono eguali volumi di vapore, parrebbe che dovesse esistere una certa dipendenza tra la dilatazione di un liquido ed il volume di vapore prodotto.

Dilatazione apparente de' liquidi.

87. La dilatazione apparente non è altro che la dilatazione osservata nel vaso, facendo astrazione dalla dilatazione del vaso medesimo.

Per determinare la dilatazione apparente del mercurio i Sig. Dulong e Petit si son serviti di un tubo di 6 decimetri di lunghezza atto a contenere ad un di presso 700 grammi di mercurio, chiuso ad un'estremo, e dall'altro terminato con un tubo capillare la cui capacità è una frazione piccolissima della capacità totale. Questo apparato era successivamente portato a zero, a 100, a 200, ed a 300 gradi. La dilatazione apparente era data dalla quantità di mercurio che usciva del tubo ad ogni operazione. Ed in vero, sia P il peso totale del mercurio contenuto nel tubo a zero, P' il peso di questo metallo scacciato dal calore: quest'ultima quantità sarà la dilatazione apparente di $P - P'$; poichè essa riempie da 0 a t tutto lo spazio al di sopra di P'

$P - P'$, e noi supponiamo l'involuppo senza dilatazione; così —
 $P - P'$

è il rapporto tra il peso del volume uscito del tubo e quello del rimanente volume; però questo rapporto esprime la dilatazione per t gradi; dividendolo per t si avrà il coefficiente della dilatazione apparente. A questo modo è qui sostituito il peso al volume, cosa del tutto permessa, dapoichè ad una stessa temperatura, i pesi sono proporzionali ai volumi. La stessa determinazione si ottiene di un'altra manie-

ra: suppongasì per es. di conoscere il rapporto tra la capacità di una divisione del tubo di un termometro e quella della palla sino a zero; sia p la quantità di mercurio che contiene una divisione, P il peso totale del mercurio che chiude il termometro, nondimeno se per un numero t di gradi il mercurio si dilata di n divisioni, la dilatazione apparente per l'unità di volume e di temperatura sarà evidentemente $\frac{np}{Pt}$.

Osservazione. I risultati sono i medesimi sia qualunque la spessezza de' tubi, il che dimostra che il volume interiore di un vaso ha una dilatazione eguale a quella di un pari volume della materia onde è formato il vaso.

Tavola di risultati.

Temperature dedotte dalla dilatazione dell'aria	Dilatazioni apparenti medie del mercurio	Dilatazioni assolute del vetro in volume	Temperature dedotte dalla dilatazione del vetro supposta uniforme
100	$\frac{1}{6480}$	$\frac{1}{38700}$	100
200	$\frac{1}{6378}$	$\frac{1}{36300}$	213, 2
300	$\frac{1}{6318}$	$\frac{1}{32900}$	352, 9

Il numero $\frac{1}{6480}$ della dilatazione apparente è un poco più debole che $\frac{1}{6430}$ dedotto dall'esperienza de' Sig. Lavoisier e Laplace, e come questi scienziati nel vaso che adopraron non avevano fatto bollire il mercurio, han dovuto trovare una troppa forte dilatazione.

La terza colonna chiude risultati che esprimono la dilatazione cubica del cristallo. Essi sono la differenza tra il numero della seconda colonna e la dilatazione assoluta del mercurio precedentemente trovata. La quarta mostra le temperature indicate da un termometro di vetro graduato tra zero, e l'acqua bollente alla maniera ordinaria, nella supposizione di una dilatazione uniforme.

88. Poichè piccolissime sono le dilatazioni de' corpi solidi, bisogna impiegare rigorosi processi per misurarle. Queste dilatazioni sono state scopo ad infiniti lavori, ma la maggior parte degli strumenti immaginati a tal fine sono soggetti ad errori. Noi esporremo i principali metodi con sufficienti particolari perchè bene si concepissero, ed aggiungeremo i risultamenti più importanti che abbiano dati.

89. *Dilatazione lineare 1° processo.* Il Sig. Lavoisier e Laplace han fissata una barra metallica di cui volevano conoscere la dilatazione in posizione orizzontale di rincontro ad un piano di vetro il quale era ritenuto in posizione verticale invariabile. L'altra estremità della barra egualmente si appoggiava ad una lama di vetro mobile intorno ad un'asse orizzontale di cui la estremità faceva muovere un cannocchiale diretto ad una mira messa a grande distanza. L'allungamento di una linea nella barra metallica sottomessa all'esperienza allorchè la mira era posta a 100 tese di distanza faceva percorrere al cannocchiale 744 linee, dando la facilità di dividere la linea in 744 parti, e per conseguenza la possibilità di apprezzare una dilatazione eguale ad $\frac{1}{744}$ di linea.

La barra era portata dalla temperatura del ghiaccio fondente a quella dell'acqua bollente. Avendo di lunghezza 6 piedi l'errore indotto dalla dilatazione delle due lame di vetro era trascurabile se si riguarda alla dilatazione della lunghezza della barra. La (f. 6 t. III) può dare una idea chiara dell'apparecchio. CD è la barra metallica, AB la lama di vetro fissa, FK la lama mobile intorno all'asse orizzontale, OL il cannocchiale, PR la mira. I due illustri accademici francesi hanno sottoposto alle loro ricerche tutti i metalli conosciuti al tempo delle loro esperienze 1782. Queste esperienze non sono state pubblicate dagli autori, ed i risultati che ora noi rapportiamo sono stati conservati dalle cure di madama Lavoisier.

2° *processo.* Questo appartiene a Ramsden, ed accoppia molta semplicità a molta esattezza. Piedi 5 di lunghezza ha la barra metallica collocata orizzontalmente in una vasca di rame piena di acqua; il liquido riscaldato da 12 lampade ad alcool, giunge senza difficoltà all'ebollizione.

La vasca di rame è in mezzo a due vasi di legno ognuno de' quali chiude una sbarra di fusione, e ad ogni estremità di una di queste sbarre è un microscopio mantenuto in posizione orizzontale e perpendicolare alle sbarre, e diretto sulle tre corrispondenti estremità delle sbarre. In prima le tre sbarre sono alla temperatura del ghiaccio fondente. Se poi quella che è nel vaso di rame è riscaldata mentre le altre due conservano la stessa temperatura, si può coll'aiuto de' microscopj misurare l'accrescimento in lunghezza che la prima riceve (*Trans. Filo: v. 75 p. 480*) Il perchè si ridurranno le tre estremità di un'istesso lato sopra una stessa linea, e si può giudicare della dila-

tazione dal cammino percorso dal micrometro dell'opposta estremità della sbarra di rame, per trovarsi alla dritta che unisce le estremità corrispondenti delle due sbarre di ferro fuso. Del rimanente essendo dato l'apparato ponno escogitarsi differenti mezzi proprj da misurare la dilatazione.

Tavola delle dilatazioni lineari.

NOMI DELLE SOSTANZE SECONDO LAVOISIER E LAPLACE	COEFFICIENTI Per 100 gradi, dal ghiaccio fondente fino all'ebollizione dell'acqua.	
	In frazioni ordinarie	Infrazioni de- cimali
Cristallo di Saint-Gobin	$\frac{1}{1122}$	0,0008912
Tubo di vetro senza piombo	$\frac{1}{1142}$	0,0008756
Tubo di vetro senza piombo	$\frac{1}{1114}$	0,0008976
Altro tubo di vetro senza piombo .	$\frac{1}{1090}$	0,0009174
Flint-glass inglese	$\frac{1}{1248}$	0,0008012
Vetro di Francia con piombo . . .	$\frac{1}{1147}$	0,0008718
Rame	$\frac{1}{581}$	0,0017211
Altro rame	$\frac{1}{584}$	0,0017123

Ramo giallo o ottone	$\frac{1}{535}$	0,0018691
Altro rame giallo o ottone	$\frac{1}{529}$	0,0018903
Ferro dolce di forgia	$\frac{1}{819}$	0,0012210
Ferro rotondo passato per filiera	$\frac{1}{812}$	0,0012315
Acciaio non temperato	$\frac{1}{927}$	0,0010787
Piombo	$\frac{1}{351}$	0,0028490
Stagno dell' Indie, o di Malacca .	$\frac{1}{516}$	0,0019364
* Stagno di Falmouth	$\frac{1}{462}$	0,0021730
Argento di Coppella	$\frac{1}{524}$	0,0019084
Argento alla bontà di Parigi	$\frac{1}{524}$	0,0019084
Oro	$\frac{1}{682}$	0,0014661
Oro alla bontà di Parigi non rincolto	$\frac{1}{645}$	0,0015504

Detto rincotto	$\frac{1}{661}$	0,0015128
Platino (secondo Borda)	$\frac{1}{1167}$	0,0008563
Zinco secondo Smeaton	$\frac{1}{340}$	0,002942
Ferro fuso secondo il General Roy	$\frac{1}{901}$	0,001110
Palladio secondo Wollaston	$\frac{1}{1000}$	0,001000

90. Quando si conosce mediante il processo esposto, la dilatazione di un corpo solido, si determina facilmente la dilatazione di tutti gli altri, osservando l'andamento di un pirometro formato dalla riunione di due regoli metallici invariabilmente riuniti ad una delle loro estremità. Questo è il pirometro impiegato da Borda, e da Deluc. Vedi la (f. 39t. III). Nelle esperienze de' Sig. Dulong e Petit, due sbarre di 12 decimetri di lunghezza, di 25 millimetri di larghezza, e di 4 millimetri di doppiezza, erano riunite per una delle loro estremità mediante una traversa di ferro sulla quale esse venivano strette con forti viti (f. 3 t. III). Ciascuno regolo portava all'estremità un'asta di ottone che sorgeva da prima verticalmente e si ripiegava in seguito orizzontalmente. Le braccia orizzontali eran munite, una di una scala divisa in quinti di millimetro, l'altra di un verniero. La dilatazione lineare così ottenuta, essendo la differenza tra le dilatazioni de' due metalli, una di essa essendo conosciuta, sen può dedurre l'altra (B).

Questi due regoli immersi in un bagno di olio erano portati a differenti temperature. Facendo questa esperienza con una lama di ferro unita successivamente a lame di rame e di platino, i mentovati Fisici han trovato i seguenti numeri (C).

Temperatura del termome- tro ad aria	Dilatazioni medie assolute del ferro	Dilatazioni medie assolute del rame	Dilatazioni me- die assolute del platino.
100	$\frac{1}{84600}$	$\frac{1}{59200}$	$\frac{1}{113100}$
300	$\frac{1}{68100}$	$\frac{1}{53100}$	$\frac{1}{108900}$

91. *Dilatazione cubica.* Il processo proprio alla determinazione della dilatazione cubica è molto più semplice che quelli non ha guari descritti per le dilatazioni lineari. Aggiungasi che egli è suscettivo di precisione grandissima. I Sig. Dulong e Petit l'hanno impiegato, ed

(B) Sia l la lunghezza comune delle due barre; sia C il coefficiente noto della dilatazione lineare di uno de' due metalli; X il coefficiente ignoto dell'altro metallo; t la temperatura; N lo spazio percorso dal cannocchiale; si ha $Clt = Xlt = N$ di dove si ricava il valore di X .

(C) I processi del n.º 89 danno le dilatazioni lineari; triplicandoli si hanno le dilatazioni cubiche. A giustificare questa operazione, sia t il lato di un cubo; se per effetto del calore questo lato diviene $1 + d$, il cubo diventerà $1 + 3d + 3d^2 + d^3$; ma si ridurrà a $1 + 3d$ poichè d essendo una frazione piccolissima $3d^2 + d^3$ può essere trascurato in modo che la dilatazione totale del cubo sarà $3d$, cioè il triplo della dilatazione lineare.

esposto nella memoria innanzi citata. Questo processo esige la conoscenza anticipata della dilatazione assoluta del mercurio, e quella di un corpo solido, per *es.* quella del vetro; quest'ultima è la differenza tra la dilatazione assoluta e la dilatazione apparente del mercurio. Così rappresentando D , d le dilatazioni assolute ed apparente del mercurio, d' la dilatazione assoluta del vetro, si avrà $d' = D - d$. Ciò potrà meglio intendersi considerando che la dilatazione apparente del mercurio in un vaso di vetro non è che la dilatazione assoluta di questo metallo diminuita della dilatazione assoluta di un volume di vetro eguale alla capacità del vaso. Vale a dire che si ha $d' = D - d$.

D e d sono stati determinati più avanti; quindi si conosce d' la dilatazione del vetro.

La formula $d' = D - d$ è approssimativa. Ed in vero, sia V il volume del mercurio a 0; a 1° questo volume diverrà $V(1 + D)$; sia V' la capacità a 0 della parte del vaso che contiene $V(1 + D)$; questo volume diventerà $V'(1 + d')$ ad 1°; ma si ha $V(1 + D) = V' - V$, quindi $D = \frac{V' - V}{V} \pm \frac{V'}{V} d' = d + \frac{d'}{V}$. Se si suppone $\frac{1}{V} = 1$, ciò che è prossimo al vero, si ritorna nella formula

$$D = d + d', \text{ o } d' = D - d.$$

La dilatazione assoluta del mercurio e quella del vetro essendo note, egli è facile determinare la dilatazione cubica degli altri corpi; trattasi, per esempio di avere la dilatazione del ferro, si introduce un piccolo cilindro di questo metallo in un tubo di vetro che si affila alla lampade e che si riempie di mercurio; si riscaldi quest'ultimo fino all'ebollizione affin di scacciarne l'aria e l'umidità. Pesando il tubo pieno a zero, esponendolo in seguito a differenti temperature, pesando il mercurio uscito ad ogni esperienza, si ha la dilatazione del ferro a differenti temperature, poichè il volume uscito è eguale alla somma delle dilatazioni del ferro e del mercurio diminuite della dilatazione del vetro. Per eseguire questo calcolo, è necessario conoscere il volume di ciascuno de' corpi, il che si ottiene dividendo i pesi per le densità a zero. La capacità del tubo è eguale alla somma de' volumi del ferro e del mercurio (A).

(A) Sieno V , V' , V'' i volumi del ferro, e del mercurio, e la capacità totale del tubo; K , K' , K'' i coefficienti di dilatazione del ferro, del mercurio, e del vetro; t la temperatura contata a partire da zero. Si avrà $V K t + V' K' t - V'' K'' t = m$, m essendo il volume del mercurio uscito per effetto della dilatazione. E se i volumi si esprimono in funzione de' pesi, la formula diventa
$$\left(\frac{P}{D} + \frac{P'}{D'} - \left(\frac{P}{E} + \frac{P'}{D'} \right) K'' \right) t = \frac{P''}{D''}$$
 nella quale tutto è noto ad eccezione di K .

In questa quistione D e D' sono le densità a zero, e D'' la densità alla temperatura t .

Se il metallo è suscettivo di essere alterato dal mercurio, si potrà leggermente ossidare alla superficie o coprire di uno strato sottilissimo di vernice. Lo strato di ossido o di vernice essendo di un peso trascurabilissimo comparativamente al peso totale, non avrà influenza sul risultato finale.

92. I coefficienti ottenuti dal vetro, platino, rame, e ferro dimostrano che la dilatazione de' solidi riferita al termometro ad aria è *crescente*, e variamente crescente per ciascuno di essi. Se si costruissero de' termometri con regoli di queste materie, e si graduassero al solito al di là di 100°, darebbero temperature più elevate che il termometro ad aria. Dalle precedenti tavole si deducono i rapporti seguenti.

Termometro ad aria	Ferro	Rame	Platino	Vetro
0	0	0	0	0
100°	100°	100°	100°	100°
300°	372°, 6	328°, 8	311°, 6	352°, 9 (B)

Si vede 1° che le indicazioni del termometro di platino sono più prossime a quelle del termometro ad aria.

2° Che la dilatazione del vetro è molto crescente, poichè a 300° gradi del termometro ad aria, il termometro di vetro disegna 352°, 9; ecco perchè il nostro termometro a mercurio indica 307°, 64 quando il termometro ad aria è a 300°, nel mentre il mercurio isolatamente preso indicherebbe 314°, 15, siccome lo dimostra il quadro della dilatazione di questo metallo.

93. Egli è chiaro da quanto precede che niun termometro formato

(B) Se si chiami T la temperatura del termometro ad aria, t la temperatura corrispondente del termometro formato da una di queste sostanze, K e K' i coefficienti di dilatazione tra 0 e 100, e tra 0 e T , si ha

$K : K' :: T : t$ (a)
Nel caso del ferro si ha $\frac{1}{37200}$ tra 0 e 100°, e $K' = \frac{1}{35100}$ tra 0 e 300°, si trova $t = 372°$, 6.

Ed in vero, ogni grado della scala termometrica equivale a KI , I essendo la lunghezza del regolo di ferro, poichè si suppone per la costruzione di questa scala K uniforme a tutte le temperature. Alla temperatura T del termometro ad aria, il regolo del termometro sarà dilatato di $K'T$. Per avere il corrispondente grado t di questo termometro, bisogna evidentemente dividere

$\frac{TK'}{K}$ per KI ; e però si ha $t = \frac{TK'}{K}$ da cui si deduce la proporzione (a). Se in

luogo di una lunghezza si suppone un volume, si arriverà al medesimo risultato.

con sostanze solide o liquide è paragonabile con se stesso, poichè la dilatazione di queste sostanze cresce al crescer della temperatura, e le variazioni sono sempre più grandi a misura che il corpo è in generale più vicino al suo cambiamento di stato. Se vi sono sostanze che hanno un coefficiente costante di dilatazione, esse sono l'aria, l'azoto, l'ossigeno, e l'idrogeno, le quali son pur quelle che non si son viste cambiar di stato col freddo o colla pressione; e però convien riferire le temperature al termometro ad aria. Ma la più facile costruzione, ed il comodo maggiore che offre il termometro a mercurio, lo fa impiegare a preferenza in quasi tutte le esperienze; per il che è necessario paragonare l'andamento di questi due istrumenti. Già il Gay-Lussac ha mostrato che essi son di accordo tra il ghiaccio che si fonde e l'acqua bollente, ed i sig. Dulong e Petit han più recentemente proseguita la medesima comparazione fra -36° , e $\pm 350^{\circ}$, ed ecco i rapporti ottenuti.

Temperature indicate dal termometro a mercurio

-36°
0
100°
150°
200°
250°
300°
360

Temperature indicate da un termometro ad aria, e corrette dalla dilatazione del vetro

-36°
0
100°
148°, 70
197°, 05
245°, 05
292°, 70
350°, 0

Non vien punto impiegato in questo paragone il termometro ordinario, poichè affin di indicare con una certa approssimazione le alte temperature farebbe mestieri assegnare al tubo molta lunghezza. Si fa uso del termometro a peso. Noi abbiam visto n.° 107 che la dilata-

zione apparente del mercurio è data dalla formula $\frac{p}{(P-p)t} = d$, e poi-

chè si sa che $d = \frac{t}{t_0}$, l'espressione precedente diventa $\frac{p}{(P-p)t} = \frac{t}{t_0}$. Si opererà adunque come se si volesse cercare la dilatazione apparente e si otterrà t .

A costo al tubo pieno di mercurio ve ne è un'altro parimenti aperto e pien d'aria secca; ambedue sono alla medesima temperatura perchè immersi nel medesimo bagno di olio.

(I calcoli che si richiedono pel termometro ad aria essendo un po' complicati, noi rimandiamo i lettori alle note).

Avvertimento. Precedentemente noi abbiám supposto la temperatura eguale in tutte le parti de'corpi sottomessi all'esperienza: ma quando essa non è uniforme, la dilatazione di tutte le parti è determinata dall'equilibrio generale delle forze molecolari che il calore ha sviluppate; e può anche avvenire che vi sia contrazione in una parte riscaldata. Duhamel è stato condotto alla seguente proposizione: si introduce qualunque quantità di calore nella spessezza di una sfera vuota, di modo che i punti egualmente lontani dal centro siano riscaldati egualmente; la dilatazione della capacità interiore come quella del volume esteriore non dipende punto dalla distribuzione del calore introdotto, ma solo dalla quantità totale; e la dilatazione de' diversi strati compresi tra i due strati estremi dipende dalla medesima distribuzione.

Pirometri.

94. Quando le temperature da determinarsi sorpassino 400 a 500 gradi, i vasi di vetro debbono essere esclusi, poichè essi entrano in fusione quasi a 500°. Allora a' termometri ordinari sono da sostituire alcuni termometri formati da corpi solidi poco fondibili, i quali istrumenti son chiamati pirometri.

Noi non entreremo qui a descrivere tutti i pirometri più o meno ingegnosi imaginati da' Fisici. Questi istrumenti in generale pel gran numero di parti tornano molto imperfetti.

95. Il più semplice è il pirometro di Borda, formato da due lamine di metallo inegualmente dilatabili (*f. 39 t. III*). Il medesimo lascia alcune incertezze intorno alle indicazioni delle temperature superiori a 350°; imperocchè oltre questo termine la legge delle dilatazioni de' metalli è ignota. Nondimeno tenendo conto dell'accrescimento del coefficiente di dilatazione, si avranno con questo pirometro più esatte temperature che con alcun altro conosciuto. E' questo istrumento composto di una lamina di rame ed una di platino intorno a quattro metri di lunghezza, e poco differenti nella forma da ciò che vien rappresentato dalla (*f. 39 t. III*), e che Borda e gli altri astronomi francesi impiegarono come misura lineare nelle grandi operazioni geodesiche in questi ultimi tempi intraprese.

Un'altro pirometro ben'anche è fondato sulla ineguale dilatabilità di due metalli. La (*f. 7 t. III*) lo rappresenta: ACB è un'asta di metallo rettilinea, l'altr'asta curva ADB è formata da un metallo più dilatabile. Il cangiamento di temperatura fa variare la forma dell'arco ABD; si rendono sensibili le variazioni per via di una leva ad angolo FCL il moto della quale è indicato da un'arco graduato *pr.* Quest'istrumento noto sotto il nome di pirometro di Regnier approssimativamente dà le basse temperature e le alte, ma le differenti complicazioni di leve e di aste lo rendono poco suscettivo di esattezza. Quantunque gl'istrumenti di questo genere non offrono bastante precisione da poterne riguardare l'indicazione come rigorosissima,

non dimeno l'uso qualche volta ne è utilissimo. Per esempio, volendosi che la temperatura di un forno da porcellana non sorpassi alcuni limiti, si collochino in sì fatto fornello uno di questi istrumenti, e si diriga a tal modo il fuoco che l'estremità del braccio CL della leva corrisponda sempre intorno alla stessa divisione dell'arco *pr*. Il Sig. Brongniart mette in uso questo processo alla bella manifattura di Sèvres.

96. Il Pirometro di Wedgwood abile manifatturiere Inglese essenzialmente differisce dagli altri, perocchè la parte principale è un prisma di argilla. Questa sostanza tanto più si contrae quanto è sottoposta a più elevata temperatura (A). Prima si fa strisciare il prisma di argilla tra due regoli metallici *ab*, *cd* (*f. 5 t. III*) divisi in parti eguali e tra loro inclinati. La comune lunghezza de' due regoli è 30 centimetri; la differenza tra le distanze delle due estremità è intorno a 30^{mm}; la distanza media è di 10^{mm}; ogni regolo è diviso in 240 parti, ogni parte è un grado; lo zero è al livello del più grande allontanamento de' regoli, e corrisponde quasi a 500° centigradi; ogni grado vale 72 gradi centigradi. Spesso per rendere più portatile l'istrumento è diviso in due.

Il pirometro di Wedgwood è necessariamente difettosissimo essendo solamente atto a dare un debole indizio delle temperature.

Si è trovato che

	Wedgwood	In gradi centigradi
L'argento fonde a	28°	2516
L'oro a	32°	2804
Il ferro a	150°	11300

Non rapportiamo altri numeri perchè crediamo che ogni indicazione dello stesso istrumento sia affatto inesatta, ed in generale molto al di sopra del vero. Così la temperatura della fusione del ferro, la quale è delle più alte che possan prodursi, forse non è 1500 gradi, ed il pirometro di Wedgwood la dà eguale a 11300.

Fra tutti i pirometri, quello che ci sembra preferibile nello stato attuale della scienza sarebbe il pirometro ad aria costruito con una palla di platino vuota, alla quale sarebbe adattato un tubo di vetro: è vero che la dilatazione del platino sarebbe causa di errore; ma come la legge di questa dilatazione è conosciuta da 0 a 360°, per via di calcolo si potrebbe stenderla sino a 500, 600 o più gradi per indebolire considerabilmente l'errore.

(A) Questa contrazione dell'argilla pel calore non è una contraddizione alla legge comune della dilatazione de' corpi, essendo che questo fenomeno appartiene ad una combinazione più intima degli elementi; e quando il calore è stato forte abbastanza da completare la combinazione, l'argilla segue la legge generale dilatandosi pel calore contrahendosi al freddo.

Il Sig. Prinsep di Benarès fece non ha guari l'esperienza con uno apparecchio, a dir vero, complicatissimo; egli pel calore rosso dà 649° , 899° pel rancio, e 999° per la fusione dell'argento.

Abbiamo dimostrato abbastanza l'importanza della conoscenza delle dilatazioni pel paragone fatto de' differenti termometri, ci resta a menzionare qualche applicazione alle arti.

Pendolo compensatore.

97. È noto che la dilatazione, e la contrazione de' metalli operata dalle variazioni di temperatura sono principali cause della irregolarità del movimento degli orologi. Se la verga del pendolo si allunga l'orologio ritarda, nel caso contrario avanza. Possono combinarsi le diverse parti dell'asta in modo tale da compensare gli effetti del caldo, e del freddo.

98. Il pendolo generalmente oggi adoperato in Francia nella forma è indicato dalla (f. 33 t. III). La verga del pendolo sù riferita è formata di ferro e di rame. La dilatazione dell'asta di ferro serve ad aumentare la lunghezza del pendolo, la contrazione diminuirla; quelle di rame, secondo che mostra la figura, producono un'effetto contrario. E' chiaro, per via di calcolo, che le totali lunghezze delle aste debbono essere in ragione inversa delle dilatazioni lineari de' due metalli. Vien soddisfatta prima approssimativamente a questa condizione, appresso per via di tentativi si compie la compensazione, portando il pendolo a differenti temperature da quella del ghiaccio che si fonde fino all'acqua bollente (A).

99. Graham celebre orologiaio Inglese aveva proposto di formare l'asta del pendolo con un tubo di cristallo in parte riempito di mercurio. E perchè la dilatazione di metallo siffatto è di molto più grande che quella del cristallo, una quantità poco considerabile ba-

(A) Supponiamo che le lunghezze delle barre di ferro AC, DB, EF, e della barra di rame KH (f. 32 t. III) siano rappresentate da a, b, c , e d , si avrà per la lunghezza reale del pendolo $L = a + b + c - d$.

Supponiamo di più che il pendolo abbia a zero la lunghezza conveniente per fare una oscillazione ad ogni secondo: ad una temperatura t , L diverrà $L' = a + aKt + b + bKt + c + cKt - d - dK't$. (K, K' rappresentano li coefficienti delle dilatazioni lineari del ferro e rame).

Perchè $L' = L$, si avrà $(a + b + c) K = dK'$, o $(L + d) K = dK'$. D'onde se $K' = \frac{2}{3}$ di K , si avrà $d' = \frac{2}{3} L$, vale a dire che la somma delle verghe di rame deve essere eguale ad una volta e mezzo la lunghezza del pendolo, condizione evidentemente impossibile ad ottenersi con un'apparecchio simile a quello che è rappresentato della (f. 32 t. III) ma alla quale si può supplire coll'apparecchio rappresentato dalla (f. 33 t. III)

sta a compensare i mutamenti della lunghezza del tubo di cristallo; la figura 34 *f.* III rappresenta il pendolo compensatore. Il centro d'oscillazione di tutta la massa di questo pendolo è nella colonna di mercurio, poichè il peso ne sorpassa di molto quello del tubo. Per la elevazione di temperatura, la dilatazione del tubo fa calare il centro surriferito, ma quella del mercurio lo rialza. Un pendolo ben compensato può essere costruito di questa maniera (C), ma non è usato in Francia.

100. Nella (*f.* 35 *f.* III) vedesi un apparecchio di compensazione imaginato nel 1738 da Giuliano Leroi orologiaio francese. Sur un sostegno orizzontale CC poggia un tubo AB di ottone; alla sommità A di questo tubo è situata l'estremità di una verga di ferro AEG. Questa verga è interrotta in *kk*, ove essa è composta di un piccolo telaio. *kk*, formato di due lamine flessibili, il quale telaio passa nella fessura *pp* fatta nel sostegno CC. La lunghezza dell'asta del pendolo è dunque realmente GB; per tal disposizione, la dilatazione del tubo tende a fare montare la lente G, nel mentre che la dilatazione dell'asta tende a farla discendere (B). Questo mezzo di compensazione è stato abbandonato poichè inutilmente aumenta i volumi degli orologi.

101. Un'abile orologiaio di Parigi Sig. H. Robert ha recentemente imaginato un mezzo di compensazione semplicissimo. Esso consiste a formar la verga del pendolo di platino, e la lente di zinco. Il primo metallo è meno dilatabile del secondo. Il principio è il medesimo di

quello del pendolo di Graham. Si avrà dunque l'equazione $LK = -K'$;

L essendo la lunghezza della verga di platino, *l* quella della lente di

(C) Sia L la lunghezza dell'asta, K il coefficiente della dilatazione lineare, LK sarà l'allungamento dell'asta. Sia *h* l'altezza della colonna di mercurio,

il centro di gravità sarà —. Se *K'* è il coefficiente della dilatazione apparente,

il centro monterà di $K' \frac{L}{h}$, di modo che per la compensazione bisognerà $LK = K' \frac{L^2}{h}$

(B) Ammettiamo che quest'apparecchio abbia ad una certa temperatura, a zero per ese. le dimensioni convenienti. Sia *a* la lunghezza del tubo AB, *b* la lunghezza totale AG, ed *l* la lunghezza BG che si vuol rendere invariabile; si avrà $l = b - a$. Ad una temperatura *t*, se *f* e *c* sono i coefficienti della dilatazione lineare del ferro e del rame, si avrà $l' = b(1 + ft) - a(1 + ct) = b - a + bft - act$. e come bisogna che $l' = l$, si avrà $bf = ac$. Vale a dire che le lunghezze del tubo di rame, *c* della verga di ferro debbono per la compensazione, essere in ragione inversa delle dilatazioni lineari di questi due metalli; ciò che si sarebbe trovato col ragionamento.

zinco, e K e K' i coefficienti della dilatazione lineare. Bene inteso che la verga attraversa la lente senza esservi saldata.

102. Opponendo dilatazione a dilatazione si è giunto a dare anche ai cronometri una costanza ed una regolarità quasi perfetta. Vengono impiegate in quest'ultimo mezzo di compensazione delle lame doppie, delle quali eccone alcune particolarità.

Sia una lama rettilinea (*f. 36 t. III*) formata da una lama di rame AB e da un'altra di platino CD . Supponiamo che per mezzo di viti si fissino l'una all'altra invariabilmente, ad una temperatura determinata. Questa lama composta si curverà a' più piccoli cangiamenti di temperatura; elevandosi questa, essa si curverà in modo che la lama di rame più dilatabile ed in conseguenza divenuta più grande di quella di platino abbraccerà questa nella sua concavità (*f. 37 t. III*); il contrario avviene abbassandosi la temperatura (*f. 38 t. III*).

Si fa chiaro ora, che se si disponga trasversalmente all'asta di un pendolo una simile lama che porti una piccola massa a ciascuna delle sue estremità, si potrà combinare la lunghezza della lama, ed il peso delle masse di maniera che la distanza fra il punto di sospensione ed il centro d'oscillazione del sistema sia costante (*f. 1 t. IV*). I Signori Biot e Mathieu hanno adoprato un'orologio col pendolo a tal modo compensato, ed hanno sperimentata grande regolarità.

103. Negli orologi il regolatore del movimento è un bilanciante circolare ABC (*f. 2 t. IV*) mosso da una molla spirale RR' che chiudendosi o allargandosi fa voltare il bilanciante alternativamente sopra se stesso; se cambia la temperatura, la forza della molla, le dimensioni del bilanciante, e dell'istessa molla cambiano, e però l'orologio avanza o ritarda. Per evitare quest'inconveniente si son fissate al bilanciante delle lame compensatrici P e P' terminate in masse d'oro; a forza di saggi fatti a differenti temperature, si finisce per stabilire una compiuta compensazione.

104. I signori Breguet, i cronometri de' quali sono meritamente celebri in tutta Europa, han fatta una felice applicazione delle lame compensatrici alla costruzione di un termometro che gode grande sensibilità.

La parte principale di quest'istrumento è un'elice (*fig. 6 t. IV*) formato da tre lame sottilissime di metalli inegualmente dilatabili, ed unite per pressione ad un'alta temperatura; le tre lame supposte d'argento, d'oro, e platino, non formano insieme che una spessezza di $\frac{1}{50}$ di millimetro. L'elice è fissato da un'estremità ad un sostegno di ottone che per la forma lo lascia in un perfetto isolamento; l'estremità inferiore porta un'ago orizzontale equilibrato da un peso; quest'elice composto di metalli i quali diversamente si dilatano, deve torcersi o distorcersi secondo la variazione della temperatura e portar seco nel suo movimento l'ago che percorre le divisioni di un cerchio orizzontale. Questo circolo è scavato nel centro, affin che l'aria liberamente si rinnovi intorno all'elice.

Nella costruzione dell'elice rigorosamente basta di sovrapporre due metalli, il platino, per es., e l'argento, ma come una lamina simile potrebbe rompersi nei cambiamenti repentini di temperatura, i signori Breguet fra il platino, e l'argento han collocato un terzo metallo, l'oro cioè, il quale è di una media dilatabilità.

Il valore di ogni grado si conosce paragonando il cammino di quest'istrumento a quello di un buon termometro a mercurio. L'esperienza chiarisce che l'ago per eguali cangiamenti di temperatura percorre eguali archi; di modo che l'istrumento è paragonabile a se stesso, ed agli altri costrutti coi medesimi principj. Per la seguente esperienza si potrà giudicare intorno all'estrema sensibilità di questo termometro metallico. I signori Breguet lo posero sotto un recipiente di 5 litri di capacità alla temperatura di 19° C: fecero il vuoto con tutta la prontezza possibile, ed il termometro a mercurio discese di soli due gradi, mentre l'ago dell'elice passa da $+ 19^{\circ}$ a $- 4^{\circ}$ C. Lasciarono quindi rientrare l'aria, e l'indice andò fino a $+ 50^{\circ}$ C. mentre il termometro a mercurio terminava di discendere, con tanta lentezza avea presa la temperatura dell'aria rarefatta. Questa sensibilità, di per se grandissima, può esser portata ancora più alta quando le dimensioni dell'elice si ingrandissero senza aumentarne la massa (*An. di Chi. e Fi. t. 5*).

Il principale vantaggio di cosiffatto istrumento non è nella sensibilità ma nella prontezza dell'indicazione: si potrebbero rendere di assai più sensibili i semplici termometri a mercurio, ma sarebbe impossibile di prestar loro la decima parte della prontezza di questo a prendere la temperatura de' mezzi.

La forma indicata nella (*f. 6 t. IV*) è la più comune, se non che in cambio di voltare la lama in elice si potrebbe darle la forma di una spirale come (*f. 14 t. IV*) lo rappresenta, o finalmente come l'indica la (*f. 3 t. IV*).

105. La forza colla quale i corpi solidi o liquidi tendono a dilatarsi o a contraersi per via dell'elevazione o abbassamento della temperatura è grandissima. Il Sig. Molard ha fatto una felice applicazione della dilatazione al Conservatorio di arti e mestieri. Due muri di una galleria si inclinavano non reggendo al peso del tetto. Il Sig. Molard le fece attraversare da due barre di ferro terminate esternamente da chiavarde, le fece riscaldare più volte, avendo sempre cura di serrare i globi con delle viti. Dopo ciascun riscaldamento essendosi dilatate le barre, le viti potevano serrarsi, ma dopo il raffreddamento la contrazione delle barre faceva ravvicinare i muri i quali furono presto rimessi nella loro primiera verticalità.

Capacità dei corpi pel calore.

106. Nell'attuale stato della scienza completamente si ignorano le quantità assolute di calore contenuto ne' corpi, anzi non se ne cono-

scono neppure i rapporti. I risultati delle ricerche de' Fisici han per limite la conoscenza del rapporto delle quantità di calore necessario perchè i principali corpi di egual peso vadano variando di un determinato numero di gradi della scala termometrica. La capacità di un corpo pel calore, o il *calore specifico* è la quantità di calore che questo corpo esige preso sotto unità di peso per variare di una unità di temperatura. Per dare un' idea dell' influenza del calore specifico nell' esperienze, basta citare un' esempio. Mischiandosi un chilogrammo d'acqua a zero con un chilogrammo di ferro ad 11° , la mescolanza segna un solo grado, dal che è chiaro che il calore che abbandona il ferro, e che fa abbassare di 10° la temperatura di questo metallo d'un solo grado eleva la temperatura dell'acqua. Il Dottor Wile pare sia stato il primo ad introdurre il nome di *calore specifico* nella scienza. Le sue esperienze incominciano al 1781. Era il suo calorimetro un pezzo di cristallo nel quale operavasi una cavità cilindrica chiusa per altro pezzo di cristallo. Se si potessero facilmente procurare cristalli senza fenditure questo metodo sarebbe esatissimo.

Vi sono tre metodi mediante i quali si perviene a conoscere i calori specifici; noi li esporremo successivamente.

107. *Il primo metodo* è dovuto a Lavoisier e Laplace. Il calorimetro (f. 2 t. V) di questi celebri dotti è semplicissimo. Consiste in tre cavità circolari e concentriche. Quella che occupa il centro è destinata a contenere il corpo di cui si vuol conoscere il calore specifico, l'altra è riempita di ghiaccio, una porzione del quale vien fuso dal corpo raffreddandosi; la terza ed esteriore è del pari ripiena di ghiaccio, e ripara l'altra che immediatamente circonda il corpo dall'aria circostante; di modo che l'aria che si introduce nel calorimetro, arriva alla seconda cavità alla temperatura zero, avendo presa la temperatura del ghiaccio esteriore. In un vaso particolare vien ricevuta l'acqua proveniente dal ghiaccio fuso dal corpo.

Questo processo ha per fondamento che un determinato peso di ghiaccio preso a zero esige per fondersi la stessa quantità di calore che vien abbandonando un simile peso d'acqua preso a 75° raffreddandosi sino a zero. Però portandosi corpi differenti ma simili di peso sino a 75° , e successivamente locandosi nella piccola gabbia di fil di ferro C, le quantità di ghiaccio fuse comparate a quelle che fonde una stessa massa di acqua presa alla simigliante temperatura rappresenteranno il calore specifico. Bisogna aver l' accortezza, impiegando siffatto processo, di lasciare almeno pendente dieci ore i corpi nel calorimetro, per esser certo di raffreddarli sino alla temperatura del ghiaccio.

I corpi liquidi e quelli che esercitano un' azione chimica sul ghiaccio, come gli acidi, i sali, gli alcali, debbono essere chiusi in un vaso dapprima sottoposto ad una preliminare esperienza per conoscere il ghiaccio ch'ei fonde solo.

E se i corpi medesimi non fossero d'un solo peso, e non avessero la

stessa temperatura 75°, facilmente si ridurrebbero i risultati all'unità di peso, ed alla temperatura medesima (A).

Tavola delle Capacità determinate col Calorimetro di ghiaccio de' Sig. Lavoisier e Laplace.

Acqua	1, 0000
Zolfo	0, 2085
Ferro battuto	0, 1105
Stagno	0, 0475
Piombo	0, 0282
Mercurio	0, 0290
Ossido rosso di mercurio	0, 0501
Minio	0, 0623
Calce viva	0, 2169
Vetro senza piombo	0, 1929
Acido nitrico, d.tà 1, 298	0, 6614
Acido solforico, d.tà 1, 87	0, 3346
Soluzione di nitro { nitro 1 { acqua 8 }	0, 8187
Olio di oliva	0, 3096

Il calorimetro è uno ingegnoso strumento, esattissimi sono i suoi risultati, nondimeno è da preferirsi il metodo delle mischianze o quello del raffreddamento. La lunga durata dell'esperienza, e la necessità di avere una considerabile quantità di ghiaccio son condizioni non necessarie agli altri metodi.

Metodo delle Mescolanze.

108. Questo è generalmente attribuito al fisico inglese Crawford al quale deve la scienza un'opra intorno al calore (*on animal heat*) Così fatto metodo del quale il celebre Blak nelle sue lezioni aveva fatto parola nel 1760, s'era probabilmente già rappresentato alla mente di altri osservatori, e consiste nel mischiare due corpi presi a diverse temperature; ordinariamente il corpo freddo è l'acqua. Se i corpi hanno la medesima massa, è visibile che i calori specifici sono in ragione inversa delle variazioni di temperatura, imperciocchè se il ferro, nel-

—

(A) Se g è il peso del ghiaccio fuso da un corpo di cui il peso è p , e la temperatura t , $\frac{g}{t \times p}$ sarà il peso del ghiaccio fuso da questo medesimo corpo rimenoato all'unità di peso, ed all'unità di temperatura. Se si vuole il risultato rapportato alla capacità dell'acqua a 5°, bisognerebbe moltiplicare per 75.

l'esempio notato al principio dell'articolo 106 ha perduto 10 gradi di temperatura lasciando una quantità di calore che solo d'un grado ha fatto variare la temperatura dell'acqua, necessariamente la quantità di calore richiesta ad una massa di così fatto liquido per variare d'un determinato numero di gradi, sarebbe dieci volte più grande di quella di che avrebbe bisogno una stessa massa di ferro a variar la temperatura di un pari numero di gradi. S'intende che la variazione di temperatura non sia tanto grande da far mutar la capacità. (Più innanzi si vedrà che questo elemento si aumenta con la temperatura).

109. E poichè in generale non si prendono i corpi sotto lo stesso peso, noi verremo indicando il modo da solvere la quistione sian qualsivogliano i pesi.

Siano, M la massa, C la capacità, t la temperatura dell'acqua fredda; m la massa, T la temperatura, C' la capacità del corpo caldo; e T' la temperatura della mischianza. Quella dell'acqua si è elevata di $T' - t$; la quantità di calore di questo liquido assorbita può essere espressa da $M C (T' - t)$: essendochè è chiaro che un corpo per variare di un cotal numero di gradi esige una quantità di calore proporzionale al prodotto della sua massa per la sua capacità e pel cangiamento di temperatura. Di fatti se il corpo avesse una massa eguale all'unità e variasse di un grado, la quantità di calore sarebbe C , per l'intervallo di temperatura $T' - t$ diventerebbe $C (T' - t)$ ed $M C (T' - t)$ per la massa M . La perdita di calore provata da' corpi caldi sarà del pari rappresentata da $m C' (T - T')$; però il guadagno pareggia la perdita. Si avrà dunque l'equazione $M C (T' - t) = m C' (T - T')$, dove si ricava $\frac{C'}{C} = \frac{M (T' - t)}{m (T - T')}$. Come il secondo mem-

bro non contiene che delle quantità note dall'esperienza, si troverà facilmente il rapporto $\frac{C'}{C}$; ed in fine C' , se C è eguale all'unità come

si usa supporre: le capacità de' corpi saranno allora paragonate a quella dell'acqua presa per unità.

Il vaso che contiene l'acqua esercita una influenza proporzionale alla sua massa p ed alla sua capacità C'' , di maniera che nell'applicazione bisogna ad M sostituire $M + p C''$, C essendo eguale ad 1.

Esempio: 8521^{gr.}, 25 di ferro alla temperatura di 55°, 42 mescolato con 25421^{gr.}, 18 di acqua a 15°, 17 anno elevata la temperatura di questo liquido a 16°, 59.

L'acqua è contenuta in una cassa di rame sottilissima, del peso di 1377^{gr.}, 3; questi 1377^{gr.}, 3 equivalgono ad una massa di acqua eguale a 1377^{gr.}, 3 $\times$ 0, 095, o a 130^{gr.}, 8 di acqua, 0, 095 essendo la capacità del rame. Di tal che la massa totale di acqua risaltata è 25552^{gr.}; e sostituendo alle lettere M , m , T , t , T' i loro valori, si trova 0, 110 per la capacità del ferro.

110. Se pel metodo delle mischianze si volesse conoscere la capacità di un liquido o di un corpo il quale abbia sull'acqua alquanto di azione chimica, è mestieri chiuderlo in un vaso del quale bisognerebbe tener conto. Se per esempio, il vaso pesasse p' ed avesse una capacità eguale a c , sarebbe equivalente a $p'c$ di acqua, di maniera che quanto noi abbiamo rappresentato nella formula con mC' , sarebbe realmente $p'c + mC'$ (B).

Vi sono molte precauzioni da prendere per assicurare l'esattezza delle operazioni. Si rende la massa della cassa che chiude l'acqua fredda piccola quanto sia possibile; si opera a temperature abbastanza basse perchè l'evaporazione dell'acqua prodotta dall'immersione di un corpo caldissimo non sia punto causa di errore; finalmente si osserva il raffreddamento dell'apparecchio per istabilire la correzione della perdita di calore avvenuta durante l'esperienza (C). Adempiendo a queste condizioni, il metodo delle mischianze, in molti casi torna comodo ed esatto. Noi faremo notare che ei basta a se stesso, come del pari ciascuno degli altri due.

Metodo del raffreddamento.

111. Questo terzo metodo è fondato sulle osservazioni de' tempi impiegati da' differenti corpi presi sotto il volume medesimo, e portati alla medesima temperatura per raffreddarsi d'un pari numero di gradi. È d'uopo aver l'accortezza di dare a tutti i corpi la stessa superficie raggiante. Se i corpi sono liquidi o polverizzati, si chiudono successivamente in un istesso vaso sottilissimo. Ordinariamente è adoperato un vaso d'argento o di rame, e volendo comparare i calori specifici di due corpi solidi, per es. come il ferro, e lo stagno, con queste sostanze possono formarsi cilindri eguali in volume, ed osservare i tempi del raffreddamento; e come due metalli quantunque forbitissimi hanno degli ineguali poteri raggianti, bisogna assolutamente darle la stessa superficie. Vi si giunge nel seguente modo, come io il primo credo aver fatto. Primieramente si osservi il raffreddamento di due cilindri sospesi da fili di seta nell'aria, e si noti il tempo; copronsi i cilindri con uno strato di vernice, di nuovo si osservi il tempo, e così di seguito finchè l'applicazione di un novello strato non caugli la durata del raffreddamento. Nondimeno da ciascuno de' due corpi deve uscire nel

(B) La formula generale sarebbe $(MC + pC')(T' - t) = (mC' + p'c)(T - T')$.

(C) Ci sembra molto più esatto il fare di questa maniera la correzione che di seguire il metodo proposto da Rumford, ed a torto vantato in molte opere, secondo noi.

medesimo tempo la stessa quantità di calore, perocchè la superficie raggiante, l'eccesso della temperatura su quella di un mezzo circostante, ed il volume d'una parte e dall'altra sono egualissimi; le quantità totali di calore che avranno abbandonati i due corpi saranno dunque in ragione dei tempi. Ora per un dato intervallo di temperatura, la quantità di calore che abbandona un corpo è proporzionale alla sua massa ed al suo calore specifico; dunque se m , m' dinotano le masse, c , e c' i calori specifici, θ e θ' i tempi del raffreddamento, $T - t$ l'abbassamento di temperatura, si avrà $mc (T - t)$, ed $m'c' (T - t)$ per le espressioni delle quantità di calore perduto, e conseguentemente $mc : m'c' :: \theta : \theta'$.

Resultati del raffreddamento dopo l'applicazione degli strati.

Politi	{	Ferro	9', 56"
	{	Stagno	4', 37"
1° Strato	{	Ferro	5', 44"
	{	Stagno	2', 43"
2° Strato	{	Ferro	5', 40"
	{	Stagno	2', 37"
3° Strato	{	Ferro	5', 40"
	{	Stagno	2', 37"

Per l'applicazione del 2° strato di vernice sui due metalli, il raffreddamento è stato portato al massimo: i tempi del raffreddamento sono 5', 40" e 2', 37". Poichè i due corpi hanno lo stesso volume è permesso di sostituire alle masse le densità; queste densità sono 7, 788 e 7, 291. In facendo le sostituzioni, si ottiene 100 a 49, 32 pel rapporto di capacità del ferro a quella dello stagno.

Per rapportare la capacità de' corpi a quella dell'acqua, si introduce successivamente questo liquido, ed i corpi ridotti in polvere o in lamiaglia nello stesso vaso metallico sottilissimo, del quale necessariamente bisogna aver conto. Se p è il peso, e c'' la capacità di questo vaso, le quantità di calore perduto durante i tempi θ e θ' saranno proporzionali a $pc'' + mc$ ed a $pc'' + m'c'$, di maniera che si avrà $pc'' + mc : pc'' + m'c' :: \theta : \theta'$. Noi faremo l'applicazione di questa formula alla determinazione della capacità dell'olio di oliva paragonata alla capacità dell'acqua, che noi prendiamo per unità.

I dati dell'esperienza sono: peso del vaso di argento 56^{gr.}, 36 capacità di questo metallo 0, 055.

Il vaso conteneva 147^{gr.}, 04 di acqua ad una certa temperatura, e si raffreddava di 30°, 2 in 21'; il medesimo vaso conteneva 144^{gr.}, 04 d'olio d'oliva alla medesima temperatura, e perdeva 30°, 2 in 12', 12".

In mettendo i valori numerici nella proporzione se ne deduce 0,53 per la capacità dell'olio di oliva (A).

Quadro delle capacità determinate col metodo del raffreddamento.

Acqua	1, 000	
Aceto	0, 9200	D.
Acido nitrico . . . (den.tà 1, 30) . .	0, 66	D.
Acido idroclorico . (den.tà 1, 153) . .	0, 60	D.
Acido solforico . . (den.tà 1, 84) . .	0, 35	D.
Alcool (den.tà 0, 817) . .	0, 70	D.
	(den.tà 0, 793) . .	+
Etere solforico . . (den.tà 0, 76) . .	0, 66	D.
	(den.tà 0, 715) . .	+
Essenza di terebinto (den.tà 0, 872) . .	0, 462	+
Legno di pino	0, 65	M.
— di quercia	0, 57	M.
— di pero	0, 30	M.
Flint glass	0, 19	D.
Cloruro di sodio	0, 23	D.

(D Dalton, + Despretz, M Meyer)

I signori Dulong e Petit han cercato , seguendo il metodo del raffreddamento, le capacità de' principali metalli, e dello zolfo. I risultati delle loro ricerche sono:

Acqua	1, 0000	Argento	0, 0557	Ferro	0, 1100
Bismuto	0, 0288	Zinco	0, 0927	Cobalto	0, 1498
Piombo	0, 0293	Tellurio	0, 0912	Zolfo	0, 1880
Oro	0, 0298	Rame	0, 0949		
Platino	0, 0314	Nichel	0, 1035		
Stagno	0, 0314				

Gli autori di tali ricerche han fatto una importante osservazione; cioè *che il prodotto della capacità di un corpo semplice pel peso*

(A) Egli è possibile che questa capacità non sia perfettamente esatta, l'esperienza non è stata fatta che una volta; ma d'altra parte non si è voluto che offrire un'applicazione numerica.

del suo atomo dà un numero costante, e pochissimo diverso di 0,375. Laonde le capacità de' corpi semplici pel calore sono in ragione inversa dei pesi degli atomi. I risultati degli esperimenti de' Sig. Laroche e Berard su i gas, assai bene a questa legge soddisfano, che s'ella fosse vera a tutte le temperature, sarebbe mestieri chela legge dell'aumento di capacità per la temperatura, fosse per tutt' i corpi la stessa.

112. Si può nondimeno muover dubbio se i calori specifici sono a tutte le temperature i medesimi, o se son variabili: è più probabile l'ipotesi che vuole aumentata la capacità del corpo con la elevazione di temperatura. Questa era benanche la opinione di Dalton; gli esperimenti de' Sig. Dulong e Petit che nulla lasciano a desiderare, hanno fermato in una maniera incontrastabile il fatto dell'*accrescimento del calore specifico*. In tali esperimenti era ogni corpo condotto per gradi a varie temperature, ed immerso in una massa nota di acqua fredda; per via del metodo di mischianza era determinata la capacità del metallo ad ogni esperienza. La massa del liquido era bastevolmente considerabile perchè la variazione di temperatura non oltrepassasse 10 a 15 gradi, intervallo nel quale può esser considerata come costante la capacità dell'acqua, come quella di ogn'altro corpo. Si coglierà una idea dell'aumento di capacità alla sola vista del quadro de' risultati.

	Capacità medie tra 0 e 100°	Capacità medie tra 0 e 300°
Mercurio	0, 0330	0, 0350
Zinco	0, 0927	0, 1015
Antimonio	0, 0507	0, 0547
Argento	0, 0557	0, 0611
Rame	0, 0940	0, 1013
Platino	0, 0335	0, 355
Vetro	0, 177	0, 190

Resultati particolari forniti dal ferro.

Capacità medie tra 0 e 100°	= 0, 1098
0 a 200°	= 0, 1150
0 a 300°	= 0, 1218
0 a 350°	= 0, 1255

Calori specifici de' gas

113. La determinazione de' calori specifici de' gas offre molte difficoltà, ed i saggi di diversi fisici han dato risultamenti poco concordanti. Il lavoro de' Sig. Laroche e Berard è notabile per l'estensione

non meno che per l'accuratezza che gli autori han messo nelle loro esperienze; ed intanto lascia molto a desiderare. Eccone i principali risultati.

RESULTATI

Calori specifici de' principali gas.

	A volumi eguali	A pesi eguali
Aria Atmosferica	1, 0000	1, 000
Idrogeno	0, 9033	12, 3401
Ossigeno	0, 9765	0, 8848
Azoto	1, 000	1, 0318
Acido Carbonico	1, 2588	0, 8280
Ossido di Azoto	1, 3503	0, 8878
Ossido di carbone	1, 0340	1, 0805
Gas Oliofacienti	1, 5530	1, 5763
Vapori aquosi	1, 960	3, 1360

I Sig. Laroche e Berard han ottenute queste determinazioni in facendo passare volumi eguali de' diversi gas in una serpentina metallica circondata da una conosciuta quantità d'acqua fredda; quest'apparecchio noi lo chiameremo calorimetro. Ogni gas uscendo dal gazo- metro, attraversa una prima serpentina immersa nell'olio o nell'acqua calda. Il gas arriva nel calorimetro, e vi deposita una parte del suo calore; la temperatura del calorimetro si eleva, e giunge al massimo quando quest'istrumento perde pel contatto dell'aria, e pel raggiamento una quantità di calore eguale a quella che riceve dal gas. Si comprende che questo massimo deve necessariamente aver luogo, poichè il gas cede al calorimetro una quantità costante di calore, e la perdita che fa quest'istrumento va crescendo: or, come si sa (*vedi le leggi del raffreddamento*) che la perdita di calore che prova un corpo, situato in questa circostanza, è proporzionale all'eccesso della sua temperatura sulla temperatura dello spazio circostante, e come d'altra parte il gas in passando nel calorimetro gli trasmette il calore che questo perde, ne segue che la quantità di calore che abbandona il gas è anche proporzionale all'eccesso della temperatura del calorimetro su quella del mezzo (A).

(A) Sieno c , T la capacità e la temperatura di uno de' gas; c' , t le quantità corrispondenti per l'altro gas;

m , m' le masse de' gas trasmessi a traverso il calorimetro durante il medesimo tempo (T e t essendo poco diversi);

ϕ la temperatura del luogo delle osservazioni;

114. I medesimi fisici han paragonati i calori specifici de' gas all'acqua sotto il medesimo peso, ed han trovato:

Acqua	1, 0000	Idrogeno	3, 2936
Aria	0, 2669	Ossido di Azoto	0, 2369
Ossigeno	0, 2361	Gas oliofacente	0, 4207
Azoto	0, 2734	Ossido di carbone	0, 2884
Acido carbonico	0, 2210	Vapore aquoso	0, 8478

Per determinare questi ultimi rapporti i Sig. Laroche e Berard han fatto passare una corrente di gas a traverso un calorimetro contenente una nota quantità di acqua. La temperatura di questo liquido era subito abbassata al di sotto della temperatura del mezzo circostante, e l'esperienza era arrestata quando il gas aveva portata co-siffatta temperatura tanto al di sopra del mezzo circostante quanto era al di sotto. Questo modo di correzione ci parve difettoso; varrebbe meglio prendere l'acqua alla temperatura de' corpi circostanti, come di già noi abbiain fatto notare.

Sia m e c la massa, e la capacità dell'acqua; t la temperatura di questo liquido al principio dell'esperienza, e t' la temperatura alla fine; m' , x e T la massa, la capacità e la temperatura del gas caldo; sia in fine p e c' il peso e la capacità del calorimetro, si avrà

$$mc (t' - t) \pm pc' (t' - t) = m'x \left(T - \frac{t + t'}{2} \right)$$

La corrente di gas essendo uniforme $\frac{t + t'}{2}$ rappresenta la temperatura media che conserva il gas all'uscita del calorimetro.

115. Il Sig. W. T. Hayerast in seguito di esperienze fatte su i gas disseccati, ha attribuito la medesima capacità ai gas semplici o composti, sotto lo stesso volume, e ad equal pressione. I Sig. Dulong e Petit, dopo l'esame delle esperienze de' Sig. Laroche e Berard, hanno

θ' la temperatura massima del calorimetro nell'esperienza del primo gas,
 θ'' la quantità analoga pel secondo gas, si avrà:

$$mc (T - \theta') : m'c' (t - \theta'') :: \theta' - \theta : \theta'' - \theta.$$

$mc (T - \theta')$ è il calore abbandonato dal primo gas raffreddandosi di T a θ' ;
 $m'c' (T - \theta'')$ è la quantità corrispondente per l'altro gas. In questa proporzione tutto è noto eccetto il rapporto, delle capacità $\frac{c}{c'}$; il quale si potrà dunque ricavare, e se uno dei gas è l'aria, per esempio quello di cui la capacità è c , si farà $c=1$, ciò che darà la capacità dell'altro gas rapportato alla capacità dell'aria presa per unità.

ammessa la medesima legge solo pe' gas semplici; alcune esperienze recenti del Dulong mostrano che ciascun gas composto ha una particolare capacità.

I Sig. A. Larive e F. Marcet (An. di Ch. e Ph. t. 35 p. 1) ottennero i medesimi risultati del Sig. Hayeraft.

Il processo de' fisici genovesi consiste ad esporre pendente un medesimo tempo, eguali volumi de' differenti gas ad una sorgente di calore eguale.

L'apparecchio è rappresentato nella fig. 33 bis t. III. In sostauza non è che è un manometro, come si vede. Un tubo D E F C ricurvo in forma di sifone porta un picciol globo A. Due robinetti B e C permettono che il globo si separi dal tubo senza che nè l'uno nè l'altro comunichino con l'aria esteriore.

Si rieprie il pallone del gas sul quale vuolsi sperimentare; al medesimo si dà una elasticità minore della pressione esterna; per esempio 0^m, 65, in guisa che il mercurio si elevi nel tubo D E, da 8 a 10. centimetri.

Una leggera variazione nella temperatura fa calare la colonna di mercurio, e però conoscendo la legge che lega l'elasticità alla temperatura, torna facile di determinare questa dall'altezza del mercurio; ella è del pari indicata dal gas medesimo senza aiuto di termometro nessuno.

Il piccolo globo A è chiuso in altro globo di rame, le pareti del quale sono coperte di negrofumo: in questo secondo globo si fa il vuoto sino a tre millimetri. E primamente bisogna immergere il globo di rame in un bagno d'acqua a 20° notandosi il punto al quale s'arresti il mercurio nel tubo DE. Si fa in seguito raffreddare per via di un poco di acqua fredda, alla perfine s'immerge in un bagno a 30.° Quindi esattamente è da notare l'istante in che il piccolo globo acquista la temperatura 20.° istante indicato dall'arrivo del mercurio al luogo dove si è arrestato nel bagno a 20.° E nuovamente è da notare quando il globo ha presa la temperatura del bagno, vale a dire quando il mercurio cessa di scendere.

Durante quest'esperienze. I Sig. Larive e Marcet han riconosciuto che, qualsiasi il gas ond'è pieno il globo, il tempo per arrivare ad una stessa temperatura è lo stesso. E tostoche il globo di rame invia la stessa quantità di calore nello stesso tempo al piccolo globo di vetro, è necessario però che tutt'i gas posseggono la medesima capacità sotto il volume medesimo, dappoichè sostengono una pari variazione di temperatura nell'assorbimento di pari quantità di calore. Sarebbe rigorosa questa conseguenza se il calore assorbito dal gas non fosse una piccolissima frazione di quel che prenda il globo.

Dopo qualche saggio de' Sig: Laroche e Berard, il calore specifico dell'aria aumenta con la pressione, ma in un minore rapporto di quest'ultima.

Rapporto fra la capacità de' gas sotto un costante volume, e la capacità sotto una pressione costante.

116. Quanto è stato precedentemente detto suppone i corpi presi sotto una pressione costante. Le capacità ottenute a così fatto modo sono necessariamente più grandi di quelle ottenute sotto un costante volume, imperocchè vi ha una tal quale quantità di calore impiegata alla dilatazione

Sarebbe difficilissimo di avere direttamente la capacità di un gas sotto un volume costante, da chè sarebbe mestieri chiudere il gas in un vaso inestensibile, nè questo processo indurrebbe molta esattezza, dappoichè il calore preso dal gas nell'esperienza è una piccolissima parte di quel che prenda il vaso.

Essendo c la capacità dell'aria sotto una pressione costante, la quantità di calore che bisognerà dare ad una massa di questo fluido, eguale all'unità, e presa alla temperatura t , perchè la temperatura ne varj di θ è $c\theta$. Nondimeno comprimendosi il gas in guisa da rimenerlo al suo primitivo volume, la nuova temperatura sarà $t + \theta + \omega$; e quando sarà tornato alla iniziale temperatura, avrà perduto una quantità di calore eguale a $c'(\theta + \omega)$. Essendo c' la capacità sotto un volume costante, si avrà evidentemente $c\theta = c'\theta + c'\omega$

$$\text{e quindi } \frac{c}{c'} = 1 + \frac{\omega}{\theta}$$

Per determinare il rapporto $\frac{c}{c'}$ bisogna dunque conoscere lo svi-

luppamento di calore ω dovuto alla necessaria condensazione per ritornare al suo primitivo volume un gas dilatato da una elevazione di temperatura θ . L'esperienza seguente darà queste due quantità ω e θ . Sia un globo M, (f. 20 t. 4) che chiuda l'aria alla pressione P' , alla densità d' , ed alla temperatura t . P' è un poco meno che la pressione esterna P . Apresi il globo per dar adito all'aria esterna, e chiudesi quanto l'interna pressione torna eguale alla esterna, il che addiuviene quando il mercurio nel tubo AB, comunicando col globo è alla medesima altezza di quel che sia nella vasca in che s'immerge. L'aria esterna penetrando nel globo condensa quella che ivi si trova, eleva la temperatura, e conseguentemente l'elasticità. Siano P'' e d'' la pressione, e la densità del fluido interno, allora ch'egli ha ripigliato la sua prima temperatura, che medesimamente è quella de' corpi circostanti.

Trascurando la piccola quantità d'aria entrata nel globo, potrà considerarsi l'elevazione di temperatura come risultante dalla subita compressione della stessa massa d'aria ritornata dalla densità d' alla densità d'' .

L'accrescimento di temperatura α ha portato il gas dall'elasticità P'' all'elasticità P . E però si avrà

$$P = \frac{P'' (1 + a(t + \alpha))}{1 + at}, \text{ e quindi } \alpha = \frac{(P - P'') (1 + at)}{aP''}$$

θ essendo l'accrescimento di temperatura perchè la densità dell'aria sotto una costante pressione passi da d'' a d' , si avrà la relazione

$$P' = \frac{P'' (1 + a(t + \theta))}{1 + at}; \text{ e però } \theta = \frac{(P' - P'') (1 + at)}{aP''}$$

$$e \frac{c}{c'} = 1 + \frac{\alpha}{\theta} = 1 + \frac{(P - P'')}{P' - P''} \times \frac{P''}{P'}$$

$\frac{c}{c'}$ è sensibilmente eguale all'unità. Quindi si ha $\frac{c}{c'} = \frac{P - P''}{P' - P''}$.

In una esperienza de' Sig. Clément e Desormes (Jour. de Ph. t. 89) $P = 0^m, 7665$; $P - P' = 0^m, 138$; $P'' - P' = 0,00361$; ciò che dà

$$\frac{c}{c'} = 1,354 \text{ (Vedi una memoria di Poisson. An. di Chi et Ph. t. 23)}$$

Il Sig. Dulong (An. di Chi. et Ph. t. 41 p. 113) ha determinato questo rapporto di un'altra maniera. Vedi l'Acustica per la spiegazione di questo processo. Ecco il quadro de' risultati delle esperienze del Sig. Dulong:

Nomi de' gas	Velocità del suono a 0° secondo la formula di Newton	Velocità reale del suono a 0°	Rapporto del calore specifico del gas a pressione costante ed a volume costante	Calore specifico a volume costante, quello dell'aria essendo preso per unità
Aria atmosferica	279, 29	333, 00	1, 421	1, 000
Gas ossigeno . .	266, 00	317, 17	1, 415	1, 000
Idrogeno. . . .	1064, 80	1269, 50	1, 409	1, 000
Acido carbonico	226, 24	261, 60	1, 338	1, 249
Ossido di carbone	283, 00	337, 40	1, 427	1, 000
Ossido di azoto.	226, 00	261, 90	1, 343	1, 227
Gas oliosfaciente	281, 99	314, 00	1, 240	1, 754

Solo le due ultime colonne qui sono a considerare, e ritorneremo all'articolo dell'acustica, su le due colonne contenente la celerità del suono.

Questo quadro mostra che i gas semplici hanno lo stesso calore specifico sotto un costante volume. Noi abbiamo visto che la medesima identità fu trovata da Signori Laroche e Bérard per una pressione costante.

117. Il calore specifico de' gas, sotto costante pressione, aumenta con la temperatura. Il Sig. Gay-Lussac osservando la temperatura del misto di due masse d'aria eguali, e prese a differenti temperature, ha riconosciuta esser questa più grande che la media.

118. Secondo il Sig. Avogadro (Am: di Chim: et Pp. t. 55 et 57) vien espresso il calore specifico d'un gas composto, sotto costante volume, dalla radice quadrata del numero intero o frazionario de' volumi de' gas semplici, quali entrano in un volume di gas composto. Questa legge effettivamente soddisfa abbastanza a molti casi particolari, all'ossido di carbone, al protossido di azoto, al gas oliofaciente ec. Il dotto Italiano propone una legge analoga pe' composti solidi o liquidi, ma è mestieri di numerose ricerche su gli atomi, e su le capacità, prima che sia ben fermata la legge generale del calore specifico de' corpi composti.

Sviluppamento del calore nella compressione de' gas.

119. Tutt'i gas per la pressione sviluppano alquanto di calore, e su questo sviluppamento è fondato il fucile ad aria. Il Sig. Dessaigne aveva annunziato come l'ossigeno, l'aria ed il cloro divengano luminosi per una subita compressione. Il Sig. Thénard ha di recente mostrato come questa produzione di luce tenga ad un fenomeno chimico, poichè compresso uno di tali gas in un fucile pneumatico privo di materia grassa, non ne diventa luminoso, ed è necessaria, tuttaquanta l'autorità del Thénard per non ammettere che tutt' i gas debbano sviluppar luce sotto una subita e forte pressione. E' da vedere quale sviluppo di calore corrisponda ad una pressione determinata.

Rappresentiamo per 1 la quantità necessaria di calore per elevare d' un grado la temperatura di una tal quale massa di aria che conservi pure il suo volume; 1, 421 (quadro p: 105) sarà la quantità di calore presa dalla stessa massa d'aria libera a potersi dilatare sotto la sua pression primitiva, e conseguentemente aumentando di $\frac{1}{421}$ del suo volume preso a zero. Se nondimeno questo gas dilatato è di subito ridotto per via di compressione al suo primitivo volume, l'elevazione di temperatura che andrà manifestandosi sarà tuttaquanta dovuta alla porzione di calore corrispondente al solo mutamento di volume, e sarà necessariamente uguale a 0, 421; e poichè dopo l'esperienze surriferite del Sig. Dulong, il rapporto de' calori specifici de' gas semplici (ossigeno, idrogeno, azoto) è sensibilmente lo stesso, lo sprigionamento di calore per una medesima condensazione per tutt' i gas semplici sarà dal pari lo stesso.

Il quadro manifesta che il rapporto tra' due calori specifici d'un gas

composto diventa altrettanto minore quanto il calore specifico sotto costante volume è più grande; in conseguenza l'elevazione di temperatura prodotta ne' diversi gas composti, per una medesima condensazione, è tanto più debole quanto è più grande il calore specifico. Ammettendosi essere per tutt'i gas eguale lo sviluppo assoluto di calore, e per conseguente essere l'elevazione di temperatura in ragione inversa della capacità sotto un volume costante; ancora calcolandosi in ipotesi così fatta le capacità sotto costanti pressioni, si ritroverà il numero conosciuto, di che ciascuno potrà farsi chiaro su' numeri della quarta, e terza colonna del quadro:

$$1,00 : 1,754 :: x : 0,421, \text{ e quindi } x = 0,240$$

Se ne indurrà dunque la seguente legge generale: 1.° *I volumi eguali di tutt'i fluidi elastici presi ad una temperatura medesima e sotto una medesima pressione, essendo compressi o dilatati subitamente d'una frazione medesima del loro volume; sviluppano pari assoluta quantità di calore od assorbono*; 2.° *Le variazioni di temperatura che ne risultano sono in ragione inversa del loro calore specifico a volume costante.*

Legge del raffreddamento.

120. Un corpo caldo abbandonato a sè stesso nello spazio tanto più perde di calore in un dato tempo, quanto egli è ad una più elevata temperatura su quella dello spazio circostante.

Il raffreddamento nel vuoto è solo dovuto al raggiamento; nell'aria, ed in un gas qualunque la perdita che dipende dal contatto del fluido si unisce a quella prodotta dal raggiamento.

121. Newton ammesse *a priori* (*scala graduum caloris, Phil. Frans. 1701*) che un corpo riscaldato e sottomesso ad una costante causa di raffreddamento, come l'azione di una uniforme corrente di aria, prova ad ogni istante una perdita di calore proporzionata all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circostante, e che in conseguenza le perdite di calore debbon formare una progressione geometrica decresciente (*vedi le note*) Kraft e Kiehlmann han verificata questa ipotesi per via di esperienze. La legge del Newton molto esattamente rappresenta il progresso del raffreddamento di un corpo, quando l'eccesso di temperatura su quella del mezzo non oltrepassi 20 a 30 gradi; ma al di là la differenza tra l'esperienza ed il calcolo divien tanto più grande per quanto siffatto eccesso è maggiore: ciò risulta dalle esperienze di Martine e d'Erleben, di Laroche e d'Alton, di Leslie, e non ha guari da quelle de' Sig. Dulong e Petit.

Quest'ultimo lavoro che ha fatto conoscere le leggi del raffreddamento nei gas, e nel vuoto ne servirà di guida.

Esperienze che mostrano l'inesattezza della legge del Newton nell'aria e nel vuoto.

1^a ESPERIENZA

Raffreddamento di un termometro nell'aria.

Eccesso di temperatura su quella dell'aria	Rapidità del raffreddamento di un termometro di cui il bulbo ha due centimetri di diametro
100	18,92
80	14,00
60	9,58
40	5,93
20	2,75

La rapidità del raffreddamento è il numero de' gradi perduti in un tempo preso per unità.

La colonna delle rapidità mostra l'inesattezza della legge del Newton, anco in un'intervallo di 100 gradi, poichè i rapporti fra due successive rapidità sono 1,3; 1,4; 1,6; 1,7.

Si vede del pari che se il raffreddamento fosse proporzionale all'eccesso della temperatura del corpo su quella del mezzo, la velocità 18,92 che corrisponde all'eccesso 100° di temperatura dovrebbe esser cinque volte più grande di quella che corrisponde a 20°. Quest'ultima velocità è 2°,75, e la legge di Newton la darebbe eguale a 3°,78: la differenza è intorno ad un grado.

La discordanza tra il calcolo e l'esperienza riducesi a 0°,4 per le temperature di 20° e 40°, di maniera che quando le temperature, come in molte sperienze addiviene, non sono che di qualche grado lontane, bene si può supporre esatta la legge.

2^a ESPERIENZA.

Raffreddamento nel vuoto.

Eccesso di temperatura su quella dello spazio	Rapidità del raffreddamento
240°	10, 69
220	8, 81
200	7, 40
180	6, 10
160	4, 89
140	3, 88
120	3, 02
100	2, 30
80	1, 34

Questo quadro assai meglio che il precedente mette in evidenza l'inesattezza della legge la quale suppone il raggiamento proporzionale all'eccesso di temperatura; imperciocchè dopo legge siffatta, la celerità del raffreddamento a 200° dovrebbe tornar doppia della celerità a 100°; la seconda colonna di questo quadro quasi tripla la manifesta.

Noi riporteremo eziandio una esperienza di Laroche, nella quale si riceve il calore raggianti sopra uno specchio metallico ben polito. L'effetto sul termometro situato al fuoco dello specchio è evidentemente proporzionale alla perdita che ne fa il corpo pel raggiamento, essendo quasi nulla quella che comunica all'aria in sì poco tempo.

Eccesso della temperatura di un vasetto pieno di mercurio	Effetto sul termometro focale	Effetto calcolato supponendo il raggiamento proporzionale all'eccesso della temperatura
81°	4°, 7	4°, 7
172	18, 7	9, 98
205	17, 4	11, 8

Risulta dunque dall'esperienza di Laroche, e de'Sig. Pulong e Petit, che il raggiamento de'corpi si fa nel vuoto e nell'aria per una legge diversa da quella che Newton e Richwann ammettevano. La prima, e seconda esperienza, ripetute con termometri diversissimi di massa e di forma, e con altri corpi che il mercurio, danno sempre lo stesso rapporto tra due consecutive celerità; così la legge del raffreddamento è la stessa per tutti i corpi.

I Sig. Dulong e Petit son giunti ad una formola che bene rappresenta i progressi del raffreddamento nel vuoto ed in qualsiasi gas (Vedi le note.)

122. *Influenza della temperatura del recinto su la celerità del raffreddamento.* Nel quadro seguente si rapportano i risultati di molte esperienze nelle quali la temperatura del recinto è accresciuta secondo un'aritmética progressione.

Eccessi di temperatura del termometro	Rapidità del raffreddamento nel recinto.	Rapidità del raffreddamento nel recinto	Rapidità del raffreddamento nel recinto
	a 0°	a 20°	a 40°
240	10, 69	12, 40	14, 35
220	8, 81	10, 41	11, 98
200	7, 40	8, 58	10, 01
180	6, 10	7, 04	8, 20
160	4, 89	5, 67	6, 61
140	3, 88	4, 57	5, 32
120	3, 02	3, 56	4, 15
100	2, 30	2, 74	3, 16
80	1, 74	1, 99	2, 30

Le rapidità del raffreddamento nel recinto portato successivamente a zero ed a 20°, sono nel rapporto di $\frac{12,40}{10,69} = 1,16$. E' questo il

rapporto delle rapidità della terza e quarta colonna $\frac{14,35}{12,40} = 1,16$.

Due corrispondenti rapidità qualunque esse siano darebbero il rapporto medesimo. Quindi risulta il crescere del raggimento, per un medesimo eccesso, con la temperatura del recinto. Ancora si può enunciare l'aumento al seguente modo.

La rapidità del raffreddamento di un termometro nel vuoto per un'eccesso costante di temperatura, cresce in progressione geometrica, quando la temperatura del recinto cresce in progressione aritmética. Il rapporto di questa progressione geometrica è il medesimo, qualunque sia l'eccesso di temperatura che si considera.

123. *Del raffreddamento nell'aria e nel gas.* Essendo note le leggi del raffreddamento nel vuoto, facile torna di apprezzare la porzione di calore perduto col contatto di un fluido elastico; basta di osservare in questo fluido il raffreddamento del corpo già osservato nel vuoto; il cercato effetto è la differenza tra i due effetti osservati.

Esperienze con un termometro avendo la sua superficie naturale.

Eccesso della temperatura del termometro su quella del recipiente	Rapidità nell'aria	Rapidità nel vuoto	Differenza o rapidità dovuta al contatto del fluido
200°	14°, 04	8°, 56	5°, 48
180	11, 76	7, 01	4, 75
160	9, 85	5, 68	4, 17

Esperienze col termometro avendo la sua superficie argentata.

200°	6°, 93	1°, 50	5°, 43
180	6, 02	1, 23	4, 79
160	5, 19	1, 00	4, 19

L'ispezione della quarta colonna mostra che l'aria toglie la medesima quantità di calore alle superficie vetrose ed alle metalliche. Il gas idrogeno ha dato un simile risultato; di modo che vista la gran differenza tra la natura del vetro e quella dell'argento, tra l'aria ed il gas idrogeno, si può dire che *le perdite di calore dovute al contatto di un gas sono, messe le altre cose eguali, indipendenti dello stato della superficie del corpo che si raffredda.*

124. La rapidità del raffreddamento dovuto ad un gas resta la stessa, se la temperatura e la densità di questo gas cangiano, di maniera da mantenere costante la sua elasticità. Questa proposizione risulta da esperienze fatte nell'aria e nel gas idrogeno; noi riportiamo alcuni risultati dati dall'aria.

Eccesso di temperatura del termometro sull'aria circostante	Rapidità del raffreddamento dovuto al solo contatto dell'aria sotto 0 ^m , 36, ed alla temperatura 20°	Rapidità sotto 0 ^m , 36 ed a 40°
200°	4, 01	4°, 10
160	3, 03	2, 99
120	2, 12	2, 16

125. *Le quantità di calore tolte per un gas sotto diverse pressioni varianti in progressione geometrica, sono anche in progressione geometrica.* Eccone alcuni numeri.

Eccesso di temperatura sull'aria circostante	Velocità del raffreddamento dovuto al contatto sotto 0 ^m , 72	Idem sotto 0 ^m , 36	Idem sotto 0 ^m , 18	Idem sotto 0 ^m , 09	Idem sotto 0 ^m , 043
200°	5°, 48	4°, 01.	2°, 95	2°, 20	1°, 59
160	4, 17	3, 03	2, 21	1, 62	1, 20
120	2, 90	2, 12	1, 57	1, 15	0, 84
80	1, 77	1, 29	0, 96	0, 70	0, 52

Il rapporto della progressione delle pressioni è 2; quello della progressione delle rapidità è 1,36 per l'aria; quest'ultimo diventa 1, 30 per l'idrogeno, 1, 43 per l'acido carbonico 1, 41 pel gas oliofacente.

D'un modo più semplice può rappresentarsi il precedente risultato.

Se P è il potere raffreddante dell'aria sotto la pressione p , diventerà $P (1, 366)$ sotto la pressione $2p$; $P (1, 366)^2$ sotto la pressione $4p$; e $P (1, 366)^n$ sotto la pressione $2^n p$. Se si fa $2^n p = p'$, e $P (1, 366)^n = P'$, si avrà

$$n \log. 2 + \log. p = \log. p'$$

$$n \log. (1, 366) + \log. P = \log. P'$$

$$\log. P' - \log. P = \log. p' - \log. p$$

$$\text{Quindi } \frac{\log. (1, 366)^n}{\log. (1, 366)} = n, \frac{\log. p' - \log. p}{\log. 2} = n, \log. P' - \log. P$$

$$= (\log. p' - \log. p) \frac{\log. 1, 366}{\log. 2}$$

E passando ai numeri

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{0,45}$$

Il che dimostra essere la potenza raffreddante di un gas proporzionale ad una certa potenza dell'elasticità. Pel gas idrogeno l'esponente sarebbe 0, 38, per l'acido carbonico 0, 517, e pel gas oliofacente 0, 501.

126. Paragonando le celerità del raffreddamento in differenti gas, dovute al contatto del solo gas, vedesi com'esse conservino il rappor-

to istesso. La legge di celerità siffatta è dunque indipendente dalla natura e dalla densità de' gas.

Eccesso di temperatura del termometro sul fluido circostante	Velocità del raffreddamento dovuto al contatto dell'aria, sotto 0 ^m ,72	Idem per l'idrogeno	Idem per l'acido carbonico	Idem pel gas olio-facente
200	5°, 48		5°, 25	7°, 41
180	4, 75	16, 59	4, 57	6, 45
160	4, 17	14, 26	4, 04	5, 41
140	3, 51	12, 11	3, 39	4, 70
120	2, 90	10, 10	2, 82	3, 84
100	2, 27	7, 98	2, 22	3, 12
80	1, 77	6, 06	1, 69	2, 34

Il rapporto tra i numeri della 3^a colonna e quella della 2^a è 3, 4, tra quelli delle 4^a e quelli della 2^a è 0, 96; per la 5^a è 1, 3.

127. *Le quantità di calore che un gas toglie ad un corpo crescono in geometrica progressione, per eccessi di temperatura del corpo medesimo crescente in progressione geometrica del pari.* Il rapporto della progressione degli eccessi di temperatura essendo 2, quello della progressione delle perdite del corpo è 2, 35. Donde per calcoli simiglianti a' precedenti (n° 125) si riesce ad un risultato generale; cioè, che le perdite di calore dovute al contatto di un gas son proporzionali agli eccessi di temperatura de' corpi elevati alla potenza 1,233.

128. Volendo ottenere la generale espressione del raffreddamento occasionato dal solo contatto di un fluido, è mestieri ricordarci: 1° che il raffreddamento medesimo è indipendente dallo stato della superficie del corpo; 2° che la temperatura e la densità di questo fluido solo lo alterano in quanto che ne variano la pressione. Di modo che la potenza raffreddatrice di un fluido, solo definitivamente dipende dalla elasticità. Questa e l'eccesso di temperatura del corpo sono dunque i soli elementi che facciano variare la rapidità del raffreddamento.

Se p disegni la pressione, t l'eccesso della temperatura del corpo, e V la celerità del raffreddamento, si avrà $V = mp^c t^b$; b essendo lo stesso per tutt'i corpi e per tutt'i gas, è uguale ad 1,233 (come abbiám veduto), essendo ancora c lo stesso per tutt'i corpi, ma variando da un gas ad un altro, m variando con la natura di ogni gas, e con le dimensioni del corpo;

$c = 0, 45$ per l'aria; 0, 38 per l'idrogeno;

m è uguale a 0,00919 nell'aria, a 0,0318 nell'idrogeno pel termometro a superficie nuda impiegato nelle notate esperienze, (questi valori di m suppongono p espresso in metri e t in gradi centigradi)

Questa formola permette di comparare il potere raffreddante de' differenti gas. Prendendo il potere raffreddante dell'aria per l'unità sotto la pressione 0^m,76, si trova quello dell'idrogeno eguale a 3,45, e quello dell'acido carbonico a 0,965.

129. L'apparecchio de' Sig. Dulong e Petit è rappresentato nella (f. 4 t. V').

Il recinto nel quale osservasi il raffreddamento è formato da un grande pallone di rame sottilissimo MM, il diametro del quale è circa tre diecimetri, il collo allungato di siffatto pallone è terminato da una superficie piana che con l'aiuto di un livello bisogna rendere orizzontale. Il pallone è fissato in una grande vasca di legno cilindrica, piena d'acqua. Le pareti di questo pallone essendo sottilissime, e di molto conduttrici, assumono costantemente la temperatura dell'acqua che le circonda, e come coperte internamente di nero fumo, riflettono una minima parte del calore inviato dal corpo caldo.

L'orifizio del pallone è arruotato e chiuso da una lastra assai doppia di vetro CD, parimente arruotata. Per l'interporsi di una sostanza grassa il contatto tra le superficie si rende molto intimo, rimanendo a tal guisa impedita ogni comunicazione al di fuori.

La lastra CD, ha un'apertura circolare al centro, nella quale esattamente vien introdotto un turacciolo il quale porti l'asta di un termometro, il serbatoio del quale ha un volume tanto considerabile da operare che solo d'un picciol numero di gradi ne venga l'istrumento abbassato mentre l'apparecchio si va disponendo; l'asta è coverta da un tubo AB, terminato nella parte superiore da un robinetto R al quale è adattato un cannello di piombo flessibilissimo HK, l'altra estremità del quale è fissata ad una macchina pneumatica portante un barometro destinato a dare il grado di elasticità dell'aria interiore. Quando un gas si vuol introdurre nel pallone, bisogna aver cura di dissecarlo facendolo passar per un tubo pieno di cloruro di calce. Il turacciolo di che è parola è forato d'un foro che dà una comunicazione tra il tubo AB ed il pallone.

130. La massa, la capacità, la facoltà conduttrice, lo stato della superficie, la natura del mezzo circostante, esercitano influenza grandissima sul raffreddamento. Noi considereremo questi diversi punti successivamente.

L'analisi manifesta che il rapporto de'tempi del raffreddamento di due sfere è uguale al rapporto de'quadrati de'diametri, se queste sfere hanno grandi dimensioni, e solo eguale al semplice rapporto de'medesimi diametri se le sfere son picciole. (*Théorie de la Chaleur de Fourier*). Riporterò qui due delle mie esperienze i risultati delle quali sono di accordo coll'analisi. Una palla di zineo del diametro

di 0^m, 067 ha perduto 10 gradi di calore in 4', 21^u; un'altra palla del medesimo metallo del diametro di 0^m, 093 ha perduto 10 gradi in 6', 29^u.

Lo stato delle superficie era il medesimo; il potere raggianti era stato portato al massimo per l'applicazione di una vernice. Il rapporto dei tempi del raffreddamento è 1,48, quello de' diametri 1,40; il risultato dell'esperienza è intermediario tra i due risultati indicati dall'analisi, poichè in fatti i diametri delle due palle non sono nè grandissimi nè piccolissimi.

La capacità (n° 106), la conducibilità, hanno eziandio una grandissima influenza sul raffreddamento. Per esempio, tutte le altre cose eguali, una massa di acqua esigerà molto più tempo a raffreddarsi di un certo numero di gradi, che una massa di rame di cui la capacità non è che il $\frac{1}{8}$ di quella di questo liquido. Con pari facilità si concepisce che il raffreddamento è tanto più rapido quanto più facile è il movimento del calore nell'interno de' corpi (*Vedi più innanzi la Conducibilità*).

L'agitazione dell'aria accelera il raffreddamento come vien dimostrato dalle giornalieri esperienze.

La rapidità del raffreddamento dipende eziandio dallo stato della superficie. Riporterò due risultati ricavati dalle mie esperienze.

Una palla di ferro polito di 0^m, 067 di diametro si raffredda di 10 gradi in 9', 54. La medesima palla arrugginita coll'esposizione all'aria umida ha perduto 10 gradi in 6'. Coperta di uno strato di vernice ha fatto la medesima perdita in 5' 44^u; in fine coperta di due altri strati si è raffreddata più celeramente, poichè sono stati necessari 5', 40^u per perdere il medesimo numero di gradi.

Noi daremo più sviluppi a quest'ultima parte, poichè ella è suscettiva di numerose applicazioni, e ne fornirà l'occasione di approfondire la teoria del calore raggianti (A).

(A) Se la legge di Newton fosse vera, i tempi essendo in progressione aritmetica, gli eccessi della temperatura del corpo su quella dello spazio circostante sarebbero in proporzione geometrica, vale a dire che si avrebbe la serie:

tempi	Eccessi
0'	E
1	Em
2'	Em ²
3'	Em ³
—	—
t	Em ^t

Si perviene, come si vedrà, a questa serie in supponendo la perdita proporzionale all'eccesso della temperatura del corpo su quella dello spazio circostante.

131. Le leggi relative a ciascun de' due effetti concorrenti al raffreddamento di un corpo immerso in un fluido elastico essendo stabilite separatamente, è mestieri che sieno accozzate per ottenerne la legge del raffreddamento totale: così la celerità del raffreddamento

te. Sia E l'eccesso iniziale; il corpo perderà $\frac{E}{n}$ nella prima unità di tempo, di modo che al cominciamento della seconda unità l'eccesso sarà $E - E \frac{1}{n}$; durante questa seconda unità, la perdita sarà, secondo la legge $\frac{1}{n} E \left(1 - \frac{1}{n}\right)$, e conseguentemente l'eccesso della temperatura al principio della terza unità $E \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$; continuando nella medesima maniera troveremo $E \left(1 - \frac{1}{n}\right)^t$ alla fine del tempo t . Questi diversi eccessi E ; $E \left(1 - \frac{1}{n}\right)$; $E \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$; $E \left(1 - \frac{1}{n}\right)^t$, formano una progressione geometrica di cui la ragione è $1 - \frac{1}{n}$.

Ma la perdita cresce più che proporzionalmente alla temperatura, ciò che è stato provato nel testo, di modo che l'eccesso E alla fine del tempo t non è $T = E n$, ma $T = E m$ $at + bt^2$

Se i coefficienti m , a , b sono determinati colle esperienze, questa formula potrà rappresentare con grande esattezza il raffreddamento nei limiti fra i quali i coefficienti sono stati calcolati.

Questa formula empirica permette di calcolare la velocità del raffreddamento corrispondente ad un'eccesso di temperatura, o il rapporto tra l'abbassamento di temperatura ed il tempo durante il quale ha luogo, supponendo la velocità uniforme durante questo tempo: in fatti, si ha $\log. T = \log. E + (at + bt^2)$

$\log. m$, o, differenziando ciascun membro $\frac{dT}{dt} = T (a + 2bt) \log. m$, $\frac{dT}{dt}$ ve-

locità calcolata, deve sempre eccedere la perdita reale, poichè T diminuisce durante l'istante che si considera, comunque piccolo.

Nell'ipotesi che dà la formula $T = E m t$, il raffreddamento sarebbe rappresentato da un logaritmo di cui le ordinate sarebbero gli eccessi, e le ascisse i tempi corrispondenti.

Raffreddamento nel vuoto. Il raffreddamento di un corpo nel vuoto, secon-

sarà espressa dalla formula $m (a^t - 1) + nt^b$; a e b saranno per tutti i corpi, e per tutti i fluidi, eguali, il primo a 1,0077, ed il secondo a 1,233. Il coefficiente m dipenderà dalla grandezza, dalla natura della superficie del corpo, e dalla temperatura del recinto. Il coeffi-

do la teoria adottata de' scambi di calore, è l'eccesso del raggiamento di questo corpo su quello del recinto; e però, chiamando θ la temperatura del recinto, $t + \theta$ quella del corpo, si avrà in generale per la velocità V del raffreddamento: $V = F(t + \theta) - F(\theta)$.

Se le funzioni $F(t + \theta)$ e $F(\theta)$ fossero proporzionali alle loro variabili, e fossero della forma $m(t + \theta)$ ed $m\theta$, m essendo una costante, si troverebbe per la velocità del raffreddamento mt , e ritorneremmo alla legge di Newton.

La funzione F , come lo pruovano le esperienze riportate nel testo, dipende dall'eccesso di temperatura del corpo, e dalla temperatura assoluta del recinto.

Le esperienze del n° 122 permettono di mettere $F(t + \theta) - F(\theta)$ sotto la forma $\varphi(t) \times a^\theta$.

a essendo un numero costante, e $\varphi(t)$ una funzione della variabile t solamente, che si tratta di conoscere, le due espressioni della velocità del raffreddamento essendo eguali, danno

$$F(t + \theta) - F(\theta) = \varphi(t) a^\theta, \text{ di dove}$$

$$\varphi(t) = \frac{F(t + \theta) - F(\theta)}{a^\theta} = t \frac{F'(\theta)}{a^\theta} + \frac{t^2 F'(\theta)}{2 a^\theta} + \frac{t^3 F'(\theta)}{2.3 a^\theta} + \dots$$

Questa equazione dovendo essere soddisfatta per tutti i valori di t , esige che sia $\frac{F'(\theta)}{a^\theta} = n$, o $F'(\theta) = n a^\theta$, o integrando $F(\theta) = \frac{n}{\log a} a^\theta + \text{costante}$ (i logaritmi essendo presi nel sistema neperiano), o $ma + \text{costante}$ in facendo $\frac{n}{\log a}$

$= m$; della medesima maniera si ha $F(t + \theta) = m a^{t + \theta} + \text{costante}$, e si ha in fine per la velocità $V = m a^{t + \theta} - m a^\theta (a - 1)$.

Il raggiamento del recinto è rappresentato da $ma + \text{costante}$. Or come il momento dal quale si incominciano a contare le temperature assolute è arbitrario, si può scegliere di maniera che sia nulla la costante: ciò che riduce l'espressione precedente a $V = m a^\theta$. Da ciò si conchiude, che se fosse possibile di osservare il raffreddamento di un corpo nel vuoto senza restituzione di calore per parte dei corpi circostanti, le perdite di calore crescerebbero in progres-

ciente n indipendente da questa temperatura assoluta, non meno che dalla natura della superficie del corpo, varierà colla elasticità e colla qualità del gas nel quale il corpo è immerso. Le variazioni seguono le leggi dianzi indicate.

Della riflessione, e del raggiamento del calore, e di molti fenomeni che a questi si riferiscono.

132. Sembra doversi allo Scheele una delle prime osservazioni che dimostrano l'influenza dello stato della superficie sul potere riflettente de' corpi. Questo celebre chimico avendo esposto un forbito spec-

zione geometrica, e le temperature in progressione aritmetica, e di più il rapporto di questa progressione geometrica sarebbe il medesimo per tutti i corpi. Da questa legge semplicissima si deduce come una conseguenza quella del reale raffreddamento de' corpi nel vuoto.

Se θ è costante, α lo sarebbe del pari, e la legge del raffreddamento si potrà enunciare così.

Quando un corpo si raffredda in un recinto vuoto, e mantenuto ad una temperatura costante, la rapidità del raffreddamento per gli eccessi di temperatura in progressione aritmetica, cresce come i termini di una progressione geometrica, diminuita di un numero costante.

I Sig. Petit e Dulong han verificata la formula precedente sopra più casi particolari, ed essi han trovato ch'ella è una rappresentazione fedele dell'esperienza.

Il valore di α , ragione di questa progressione, può determinarsi dalle esperienze del n° 122; poichè vedesi da tali esperienze, che l'eccesso t rimanendo costante, e la temperatura θ del recinto variando di 20, la velocità del raffreddamento si trova moltiplicata per 1, 16, e come in questi casi due velocità con-

secutive sono: $V = m\alpha \left(\frac{\theta}{\alpha} - 1 \right)$, e $V' = m\alpha \left(\frac{\theta + 20}{\alpha} - 1 \right)$, si avrà $\frac{V'}{V} = \alpha^{20} = 1, 16$; e quindi $\alpha = 1, 0077$.

Di modo che la formula generale diviene

$$V = m \cdot 1, 0077 \left(\frac{\theta}{1, 0077} - 1 \right)$$

Per le esperienze riportate n° 121, e pel caso che la temperatura del recinto è zero, si troverà che bisogna mettere $m = 2, 037$. Nella serie delle esperienze fatte nel recinto a 20°, m sarebbe moltiplicato per $\alpha^{20} = 1, 165$, e diverrebbe 2, 374. Per le esperienze col termometro a superficie inargentata m sarebbe eguale a 0, 373, α conservando il medesimo valore.

chio concavo di metallo in faccia all'apertura di un fornello nel quale bruciava del legno con molta attività, osservò che questo specchio rifletteva tutto il calore che arrivava sulla sua superficie, poichè non la riscaldava sensibilmente. Ricoperto lo specchio di nero di fumo si riscaldava in modo da non poterlo più impunemente toccare colla mano.

133. Vedemmo n° 82 e 111 che il raggiamento varia al variar della superficie, la temperatura restando la medesima; in conseguenza il potere raggiante esser deve diverso secondo i diversi corpi, la qual cosa vien confermata dell'osservazione. I Sig. Leslie e Rumford han non poco contribuito ai progressi di questo ramo di Fisica; poichè han essi arricchita la scienza di gran copia di fatti tanto curiosi quanto importanti, la teoria fisica del calore è stata in conseguenza rischiarata, e le arti ne han ricevute importanti applicazioni.

Uno de' metodi più semplici per trovare i poteri raggianti, o emissivi de' differenti corpi è quello messo in pratica dal Leslie, e consiste a raccogliere sopra uno specchio metallico il calore emesso da ciascun corpo elevato alla medesima temperatura. Per la qual cosa questo celebre fisico prende un cubo di latta vuoto *f. 7 t. V* del quale copre ciascuna delle facce con una sostanza particolare. Egli lo riempi d'acqua ad una nota temperatura, ed in generale a 95 gradi. Situando questo cubo a tre piedi di distanza dallo specchio, nel fuoco del quale è la palla focale del suo termometro differenziale, osserva l'effetto prodotto su questo termometro quando sia stazionario, cioè quando la palla riceva altrettanto di calore di quel ch'ella perda; egli successivamente presenta le altre tre facce, avendo cura di sempre riempire d'acqua alla stessa temperatura, il cubo. Il cambiamento di temperatura del mezzo è senza influenza su' risultati, dappoichè l'azione di mezzo siffatto è la stessa su le due palle del termometro. L'assorbimento dello specchio e la riflessione della palla focale di una porzion di calore, nulla mutano al rapporto richiesto (B).

(B) Sia A la quantità di calore inviato allo specchio da una faccia; $\frac{1}{m}$ il coefficiente dell'assorbimento dello specchio.

$A \frac{1}{m}$, o $A \frac{(m-1)}{m}$ sarà quella che riflette lo specchio sulla palla focale.

Questa palla assorbirà $\frac{A(m-1)(n-1)}{m} \frac{1}{n}$, se $\frac{1}{n}$ è il coefficiente della riflessione della palla.

Per una superficie che inviasse B di calore, la palla focale ne assorbirebbe $B \frac{(m-1)(n-1)}{m} \frac{1}{n}$; e però le quantità di calore assorbite dalla palla sono nel

medesimo rapporto che le quantità inviate dalle faccie.

L'aria atmosferica assorbe del pari una quantità di calore proporzionale a quella che è emessa. Questa quantità d'altra parte è debolissima.

Vedemmo non ha guari, che dove sia stazionario il termometro differenziale, la palla focale perde tanto calore quanto ne riceve; ma la quantità che perde è proporzionale all'eccesso della sua temperatura sopra quella dello spazio circostante (essendo sempre questo eccesso poco elevato) del pari la quantità ch'ella riceve è proporzionale al medesimo eccesso. Se dunque R ed R' rappresentano il potere raggianti delle due facce, T e T' le temperature corrispondenti del termometro differenziale o l'eccesso della palla focale sullo spazio circostante, si avrà

$$R : R' :: T : T'.$$

Rappresentando il potere raggianti del nero di fumo per 100, trovansi per la carta, pel vetro, per le pietre ec. un potere di poco più debole, ed i metalli politi (stagno rame oro argento ec.) hanno un potere rappresentato per 12. Si otterranno risultati più prossimi alla verità, lasciando raffreddare di alquanto numero di gradi nel vuoto, lo stesso corpo successivamente rivestito di differenti superficie; perocchè essendo lo stesso l'abbassamento, ed il calore perduto essendo parimenti lo stesso, i poteri raggianti saranno di necessità in ragione inversa de' tempi del raffreddamento. Si potrà benanche con successo impiegare il termometro moltiplicatore, il ch'è il Sig. Melloni ha fatto (vedi i fenomeni termo-elettro-dinamici).

134. Per conoscere il potere riflettente si copra successivamente la superficie dello specchio di diverse sostanze, e si riceva ciascuna volta il calore riflesso sulla palla focale. In questa determinazione si sottointende che la medesima superficie debba esser rivolta verso lo specchio, e che l'acqua del cubo debba esser rimessa alla stessa temperatura ad ogni esperienza. L'effetto è proporzionale al calore riflesso dallo specchio al suo fuoco; e come la palla focale del termometro riflette sempre una quantità di calore proporzionale a quella che riceve, ne segue che gli effetti osservati rappresentano bene il rapporto de' poteri riflettenti.

Avvi un secondo metodo fondato sopra questa considerazione: se tra il fuoco e lo specchio si situi una lamina metallica polita perpendicolarmente all'asse dello specchio, essa riflette i raggi senza alterarne l'inclinazione sull'asse; di modo che, se mF ed $m'F$ (f. 8 t. V) sono due raggi riflessi concorrenti nel punto F , il piccolo specchio piano ab interposto rifletterà i raggi mF ed $m'F$, e ne determinerà la riunione in F' ; ed in virtù dell'eguaglianza de' triangoli FaK e $F'aK$, si avrà $KF = KF'$. Egli basta dunque di fare l'esperienza situando successivamente in K una lamina delle diverse sostanze che si vogliono esaminare, e di osservare l'effetto prodotto al fuoco secondario F' . Quest'effetto è necessariamente più debole di quello che si ottiene col primo metodo; ma come la diminuzione è proporzionale al calore caduto sulla lamina metallica, i rapporti degli effetti non son punto alterati. Ciò si dimostrerebbe come nella nota precedente. Si son trovati i seguenti risultati:

Rame giallo, oro, argento polito	100
Piombo	60
Vetro, carta	10
Nero di fumo	0

Rumford è arrivato ai medesimi risultamenti con metodi un poco diversi (*Mémoires sur la Chaleur*).

Ma ecco un terzo processo più esatto de' precedenti, il quale consiste nel determinare i poteri assorbenti. A tal fine si situò nel medesimo recinto un'istesso corpo successivamente rivestito di diverse superficie (vedi l'apparato del raffreddamento), e si notò il tempo necessario perchè monti di un grado. I poteri assorbenti saranno in ragione inversa del tempo. Se per 1 si rappresenti quello del nero fumo, gli altri saranno delle frazioni, i complementi delle quali esprimeranno i poteri riflettenti. Quello del nero fumo sarà zero, ciò che è poco lontano della verità (*Dulong*).

135. Quest'ultimo processo è fondato sull'eguaglianza del potere emissivo e del potere assorbente. A noi pare potersi dimostrare siffatta eguaglianza della maniera seguente. Se si situò un corpo in un recinto mantenuto ad una temperatura costante, ne avverrà in fine equilibrio di temperatura. In questo stato il corpo evidentemente emette tanta quantità di calore quanta ne riceve; ma come il recinto può stare ad una temperatura qualunque, ne segue aver luogo a tutte le temperature l'eguaglianza del potere emissivo al potere assorbente.

In altro modo il Sig. Dulong pruova questa eguaglianza. Egli situò un termometro in un recinto coperto di nero fumo e mantenuto alla temperatura 0; osserva il raffreddamento del termometro quando l'eccesso non è che di 5°; poscia riduce a 10° il recinto, ed il termometro a 0, e si fa ad aspettare che quest'ultimo si trovi a 5° per osservare il riscaldamento. Or nel primo caso, la perdita di calore incominciando da 5° è proporzionale all'eccesso 5°, ed al potere emissivo E. Di modo che ella è eguale a 5 E moltiplicato per un coefficiente Q dipendente dalla natura, dalla forma, e dal volume del termometro. Nel secondo caso la quantità di calore assorbito è proporzionale all'eccesso 5°, ed al potere assorbente A moltiplicato pel medesimo coefficiente Q. L'esperienza mostrò che qualunque sia la sostanza che ricopre il termometro vi è eguaglianza tra la perdita ed il guadagno nel medesimo tempo; dunque $A = E$.

Ogni elemento di una superficie può essere diviso in due parti eguali o ineguali, delle quali una è priva di ogni riflessibilità, e l'altra è un perfetto specchio. Il rapporto di queste due parti è un coefficiente dipendente dallo stato della superficie, e che le osservazioni han dato sensibilmente costante per intervalli di temperatura poco estesi. Sia un fascio si (*f. 13 t. V*) di una intensità rappresentata da I cadente sopra una superficie AB; si dividerà in due parti, una a I penetrerà nel corpo e l'altra $(1 - a I)$ sarà riflessuta seguendo *is'*; il coefficiente a è un numero frazionario esprimente la riflessibilità della

superficie. Se nondimeno un fascio *ti* della stessa intensità tendesse ad uscire dal solido seguendo una contraria direzione, sarebbe decomposto in due parti $a I$, e $(I - a I)$; la prima parte uscirebbe dal corpo, l'ultima sarebbe richiamata verso l'interno. Ecco quanto costituisce la reciproca eguaglianza del potere emissivo e del potere assorbente, e rende manifesta l'eguaglianza degli scambi col circostante spazio. Questa considerazione dovuta a Fourier è indipendente dal valor particolare di a .

136. I numeri rapportati mostrano che le sostanze, (i metalli forbiti) le quali hanno la proprietà di meno emettere il calore, lo riflettono in più grande abbondanza, ed al contrario quelle che hanno un considerabile potere raggianti, come il negro fumo, il vetro, hanno un debolissimo potere riflettente. Così i poteri riflettenti di due corpi sono tanto più deboli quanto più forti siano i poteri assorbenti, ma non in ragione inversa. In effetti sia x la quantità di calore ricevuto da una superficie, a la quantità assorbita, $x - a$ sarà il calore riflettuto; se una superficie possiede un doppio potere assorbente, riterrà $2a$, e rifletterà $x - 2a$; Or in generale i quattro numeri $x - a$, $x - 2a$, $2a$, ed a non formano punto una proporzione.

Non solo il polimento, ma benanche l'intima natura delle sostanze ha un'influenza sul raggiamento, e la riflessione del calore; imperocchè due sostanze differenti che abbian ricevute il polimento medesimo inegualmente emettono e riflettono il calore. Sia qualunque il polimento di un corpo, mai non riflette in totalità il calore che cade sulla sua superficie.

137. Nel corso di queste esperienze si ha occasione di fare un'importante osservazione intorno alla teoria fisica del calore, cioè che la riflessione, ed il raggiamento non si operano all'estrema superficie, ma bene ad una tal quale profondità. Le esperienze rapportate n° 111 provano in fatti che la profondità dalla quale comincia il raggiamento è valutabile, poichè è bisognato l'applicazione di molti strati di vernice per portarla al massimo. Per provare che la riflessione comincia anche ad una certa profondità, basta ricevere il calore raggianti di una sorgente qualsiasi sopra un forbito specchio metallico, e di coprirlo successivamente di sottili strati di vernice. Si vede che il primo strato considerabilmente indebolisce il potere riflettente, ma non lo riduce punto al minimo. Aggiungasi che la doppiezza dello strato di vernice attraverso della quale si opera il raggiamento e la riflessione è piccolissimo, ed è minore pe' corpi metallici; così una porzione concava di sfera di legno coperta di una foglia metallica riflette il calore colla stessa facilità che si farebbe uno specchio metallico massiccio che avesse il polimento medesimo.

138. Ad ogni momento una quantità di fatti analoghi ai precedenti ci si offrono nella vita comune. Così si riscaldano e si raffreddano lentamente i vasi ben torbiti; quanto ai vasi rugginosi o imbrattati per l'uso, avviene il contrario; gli abiti neri, de' quali è considerabile

il potere assorbente od emissivo sono caldi nella state, freddi nell'inverno; gli abiti bianchi, per una ragione contraria, son freschi nella state, e caldi l'inverno.

139. Riprendiamo intanto molti punti della teoria del calore raggiante, l'esame de' quali ci condurrà ad una spiegazione chiara ed esatta della formazione della rugiada, e di altri analoghi fenomeni.

Un termometro locato in un recinto di qualsivoglia forma e che conserva la stessa temperatura, segna il medesimo grado qualunque sia la sua posizione.

140. Da un punto O (f. 12 t. V) meniamo un cono circolare di un'apertura infinitamente piccola ω ; questo cono conterrà tutti i raggi che riceve il punto O dall'elemento corrispondente SS' della parete. Descriviamo dal punto O , con un raggio eguale ad OS una superficie sferica che tagli la parete secondo SQ ; il solido $SS'Q$ avendo le sue tre dimensioni infinitamente piccole, potrà essere trascurato relativamente al solido $SQVV'$ che ha una dimensione finita SV o QV' , distanza, alla quale il raggiamento si opera nella sostanza che forma la parete del recinto (n.° 137).

Situiamo al punto O un'elemento s , e supponiamolo inclinato dell'angolo θ sul raggio OS .

Prendiamo un punto m nella parte della parete che noi consideriamo. Sia n il numero de'raggi calorifici che riceverà all'unità di distanza una estensione sferica descritta dal punto m come centro ed eguale all'unità di superficie. Sia r la distanza del punto O all'elemento SS' , ed a la lunghezza di em ; questa estensione non ne riceverel-

be che $\frac{n}{(a+r)^2}$ alla distanza $r \pm a$; l'elemento s , proiettato su una perpendicolare ad mO , darà $s \text{ sen. } \theta$. Quest'elemento riceverà (n° 80)

una quantità di calore eguale a $\frac{ns \text{ sen. } \theta}{(r+a)^2}$, o $\frac{ns \text{ sen. } \theta}{r^2}$ se si trascuri

a la quale è sempre piccolissima rispetto alla distanza alla quale il termometro può essere situato. Se ora consideriamo tutti i punti raggianti presi sino alla profondità me , noi avremo un fattore comune $s \text{ sen. } \theta$

$\frac{1}{r^2}$, e se noi rappresentiamo per I la somma di tutti i raggi in-

viati per questa linea, $\frac{I, s \text{ sen. } \theta}{r^2}$ sarà quella che riceve l'elemento s .

La quantità totale di calore emesso dal cono tronco $SQVV'$ sarà proporzionale all'elemento SS' ; ma la quantità ω essendo l'apertura del cono SOS' , essa rappresenterà la sezione superficiale di questo cono

all'unità di distanza, e conseguentemente $\propto r^2$ la superficie dell'elemento SS' alla distanza r . Per la qual cosa $I \propto \omega \sin. \theta$ sarà la quantità totale di calore inviata dall'elemento SS' all'elemento s . In questa espressione $\omega \sin. \theta$ è la proiezione dell'estensione sferica ω sopra s prolungata. Per avere la quantità di calore ricevuta dall'elemento s da tutti i punti delle pareti circostanti, è mestieri sommare le espressioni $I \propto \omega \sin. \theta$ date da'coni che partendo dalle pareti, hanno l'elemento s per base, ciò che limita la somma di tutti gli angoli ω ad una mezza sfera. In questa somma I ed s restano costanti. Se dunque ω rappresenta la somma di tutti i prodotti $\omega \sin. \theta$, l'effetto cercato sarà $I \propto s$. Egli è chiaro che questa espressione conserva il medesimo valore in qualunque partesì ponga l'elemento superficiale, poichè le tre quantità I , ω , s sono indipendenti da tale posizione. Lo stesso accaderà pure per un corpo; se non che in questo caso la quantità di calore ricevuta si comporrà della somma di quelle che riceve il corpo, e sarà rappresentato da $I \propto S$, S essendo la superficie del corpo. Tutto ciò che precede non si applica che alla porzione di calore emessa pel raggiamento. Egli è facile calcolare nell'istesso modo la porzione riflessa. In fatti se noi consideriamo il medesimo elemento S' , il quale visto dal punto O sottende un'angolo eguale a ω , la somma de'raggi che arriveranno al punto O potrà essere calcolata come se emanasse direttamente dalla superficie sferica SQ . Chiamando i il numero de' raggi

ricevuti all'unità di distanza dall'unità di superficie $\frac{i \propto \sin. \theta}{r^2}$ sarà il

numero de'raggi ricevuti dall'elemento s alla distanza r , e moltiplicando per ωr^2 superficie dell'elemento SQ si avrà $i \propto \omega \sin. \theta$ pel numero totale di raggi riflessi dall'elemento SS' sull'elemento s . Si troverà come sopra $i \propto s$ per la quantità totale di calore ricevuto dall'elemento s e $i \propto S$ per quella che riceve il corpo, la quale è indipendente dalla posizione del corpo stesso.

L'omogeneità delle pareti ha luogo ben raramente in natura: ma questa omogeneità non è necessaria, e basta l'eguaglianza di temperatura; ed in fatti se un'elemento raggiunga meno calore di un'altro, dovrà rifletterne di più, sicchè la somma sarà costante, e l'effetto sul termometro resterà il medesimo.

141. Risulta da quanto abbiám detto che se si intercetta un cono con diverse superficie della stessa natura ed alla medesima temperatura, esse invieranno al vertice la medesima quantità di calore (f. 16 t. V).

142. 1.º Se un termometro infinitamente piccolo m (A) situato in un recinto ha presa una temperatura fissa t , la quale è parimenti quella del recinto, e se si situi un tramezzo FF' (f. 9 t. V) di cui la

(A) Noi supponiamo il termometro con dimensioni infinitamente piccole; le spiegazioni sarebbero le medesime se quest'istrumento avesse dimensioni finite

temperatura sia la medesima di quella della porzione corrispondente CC' del recinto, il termometro conserverà la sua temperatura; poichè riceverà da questa superficie tanto calore quanto ne ricevrebbe dalla parte nascosta CC' (n° 143). Noi consideriamo la superficie FF' come intieramente priva della proprietà di riflettere il calore. Supponiamo ora che la superficie FF' rifletta tutto il calore che riceve, essa non avrà una temperatura propria, poichè avrà un potere emissivo nullo; fa mestieri attribuirle la temperatura della porzione del recinto HH' il cui calore riflesso sul termometro mediante il *tramezzo* FF' supplisce a quello che gli invierebbe CC' ; nè l'uno nè l'altro caso può presentarsi in natura. Il *tramezzo* riflette ed emette il calore, ma come il potere emissivo è complementario del potere riflettente, l'effetto è lo stesso se l'uno o l'altro di questi poteri fossero completi. Per mostrarlo, sia un raggio BA inviato dalla parete e ritenuto dal *tramezzo* FF' ; questo raggio sarà sostituito dal raggio Am , emesso da questo specchio, e dal raggio riflesso KAm . La somma di questi raggi equivale al raggio diretto BA , o KA , poichè la parete è in tutto la medesima. La stessa considerazione si applica ad una porzione qualunque del recinto.

2.° Se si sostituisca al *tramezzo* FF' un'altro HH' (f. 10 t. V) che ha la temperatura t' minore di t , il termometro abbasserà; poichè l'azione della parte CC' si supplisce con quella della superficie HH' : se inoltre si situi uno specchio KK' atto a riflettere sul termometro il calore che riceve dal piano HH' , il termometro abbasserà di più; in fatti questo specchio intercetta il calore inviato dalla porzione del recinto $D'D$, e supplisce al calore più debole che riceve dal *tramezzo* HH' .

3.° Aggiungiamo un'ultimo caso: supponiamo che un termometro m situato al fuoco di uno specchio HH' (f. 11 t. V.) l'asse del quale si confonde con quello del secondo specchio KK' , abbia presa in un recinto una temperatura fissa, se si situi un corpo freddo A al fuoco dello specchio KK' , il termometro abbasserà. Ordinariamente si esegue questa esperienza mettendo in A un matraccio pieno di neve. Si era creduto da prima ravvisare in questa esperienza l'indicazione dell'esistenza de' raggi frigoriferi; ma la spiegazione è tanto semplice quanto quella de' casi precedenti. Senza il corpo freddo ogni raggio che parte dal recinto e che passa pel fuoco A si rifletterebbe in m sul termometro. Il corpo freddo arresta i raggi e vi sostituisce i propri i quali son molto meno caldi, il termometro deve scendere. Egli è chiaro che l'abbassamento è più grande di quel che avrebbe luogo senza lo specchio KK' .

Il ragionamento sarebbe assolutamente lo stesso se il corpo A fosse più caldo del recinto e del termometro, il quale monterebbe.

Il Sig. Pietro Prevost di Ginevra, ha il primo data la spiegazione degli effetti prodotti dalla riflessione apparente del freddo. Egli ha riconosciuto che i corpi emettono il calore raggianti a tutte le tempera-

ture, e che scambievolmente se lo inviano nell'istesso modo che i corpi luminosi si comunicano la luce. (*Journ. de Ph.* 1792; *saggio di fisica del Sig. Pictet. Osservazioni sul calore raggiante di Fourier. Ann. de Chi. e Ph., t. 6; idem, t. 26 Sig. Poisson, ec.*)

RUGIADA

143. Dalle precise e variate esperienze del Sig. Wells risulta, che il raffreddamento de' corpi sempre *precede* l'apparizione della rugiada; di modo che è mestieri ammettere che la rugiada è la *conseguenza*, e non la *causa* del raffreddamento de' corpi su i quali si deposita. Se non fosse così tutti i corpi se ne dovrebbero coprire e raffreddarsi egualmente. Or l'osservazione dimostra che la temperatura de' metalli non si abbassa di 2 gradi al di sotto di quella dell'atmosfera, mentre l'abbassamento della temperatura dell'erba, della carta, del vetro giunge talvolta fino ad 8 gradi. Questi ultimi corpi raffreddano l'aria circostante e ne precipitano i *vapori*. In seguito vedremo che un gas tanto più vapore può contenere per quanto più elevata ne è la temperatura.

Intanto, quale è la causa dell'ineguale raffreddamento? Secondo il Sig. Wells, *il raggiamento del calore*; ed in vero i corpi di cui la facoltà raggiante è grande si raffreddano considerabilmente: tali sono il vetro, la carta, le materie organiche. I corpi che han debbole raggiamento poco si raffreddano: tali sono i metalli politici. Ancora, tutte le circostanze che tendono ad aumentare il raggiamento, aumentano il freddo prodotto, e quindi il deposito di rugiada: per il che, sotto un *cielo puro*, il calore inviato verso le ragioni dell'atmosfera si perde nello spazio, e si forma abbondante rugiada; sotto un *cielo coperto*, le nubi *compensano* pel loro raggiamento proprio, e per la riflessione, il calore perduto dai corpi situati alla superficie della terra, ed impediscono quindi la formazione della rugiada. Per una simile ragione sotto degli alberi, e presso gli edifizi non si deposita punto rugiada.

Eziandio si comprende facilmente perchè i venti che si elevano durante la formazione della rugiada ne arrestano, o ne ritardano i progressi; arrecano essi nuovi strati d'aria calda, la quale cedendo ai corpi terrestri una porzione di calore li impedisce di raffreddarsi; di più il *rinovamento* dell'aria accelerando l'evaporazione deve esser anche contraria alla formazione della rugiada, poichè le correnti d'aria calda disseccano rapidamente i corpi umidi.

Tutto ciò che aumenta l'umidità dell'aria, poste le altre cose eguali, favorisce la formazione della rugiada; così questa in Francia è abbondante quanto il vento trasporta l'aria dell'ovest o sud.

144. Ecco una curiosa esperienza del Sig. Wollaton che confina colla materia di cui è parola. Supponiamo che un termometro esposto la sera all'aria libera, sotto un cielo sereno sia giunto ad una fissa temperatura; quando si interponga un forbitissimo specchio metallico,

la concavità del quale rivolta verso il cielo ed il termometro ne occupi il fuoco, cesserà l'equilibrio di aver luogo all'istante (f. 15 t. V). È questa un'esperienza analoga a quella che noi abbiain citata relativamente alla riflessione apparente del freddo. Lo specchio che intercetta il raggiamento della terra riflette sul termometro i raggi più freddi delle regioni superiori dell'aria. Facendo questa esperienza, si avverta che la presenza di una nube al zenit fa qualche volta montare il termometro di molti gradi. Il successo di questa esperienza esige il concorso di molte circostanze che non sempre si trovano riunite, e sarebbe incerto se le superficie de' corpi inferiori fossero freddissime; se la legge del decrescimento della temperatura dell'aria fosse invertita, ciò che sovente avviene; il Sig. Welles ha spesso visto montare i termometri, senza il soccorso di uno specchio, di molti gradi per la presenza di una nube.

Noi aggiungeremo un fatto del quale non vi è spiegazione veruna, ma nondimeno torna utile l'averne conoscenza. In una notte *tranquilla e serena*, la temperatura dell'aria va crescendo dal suolo fino ad una certa altezza, dopo la quale la temperatura prende il noto decrescimento. A circa 220 piedi la temperatura è la medesima che alla superficie del suolo. I Sig. Pictet, Six, e Welles han provato un tal fatto.

Ammesso il raffreddamento della superficie della terra, ben si comprende, che le parti dell'atmosfera in contatto colla medesima debbon raffreddarsi più delle parti lontane; questa spiegazione che noi avventuriamo renderebbe conto del fenomeno, se l'accrescimento di temperatura di cui è parola non avesse luogo che fino ad una piccola altezza dell'atmosfera.

Fenomeni, la teoria de' quali è la medesima di quella della rugiada:

145. Noi farem da prima parola di molti fatti scoperti del Sig. Benedetto Prevost, de' quali il Sig. Pietro Prevost ha data spiegazione secondo l'ingegnosa teoria del raggiamento del calore.

Tutti hanno notato che quando l'aria esterna si raffredda durante la notte, i vetri delle finestre si coprono interiormente di umido, avvenendo il contrario quando l'aria di fuori è divenuta più calda di quella dell'interno; nondimeno ecco quanto il Sig. Prevost ha osservato. Incollandosi sulla faccia esposta all'aria fredda di un vetro della finestra una lamina di metallo polito, poco o nessuna umidità si depositerà nella parte del vetro in contatto coll'aria calda corrispondente all'armatura metallica, mentre il rimanente del vetro sarà coperto dalla rugiada. La lamina metallica locata sulla faccia contigua all'aria fredda raggia molto meno che il vetro ed impedisce al vetro medesimo di raffreddarsi; l'umidità dunque deve depositarsi meno sulla faccia opposta all'armatura che ad ogni altra parte. La lamina metallica abbondantemente si copre d'umidità quando sia posta sulla fac-

cia contigua all'aria calda; ella respinge nell'interno tutto il calore raggianti che tenderebbe ad introdursi nel vetro da quella parte, l'effetto del quale sarebbe quello di elevarne la temperatura, mentre non impedisce la faccia opposta di raffreddarsi per via del raggiamento e della comunicazione. Se le due masse d'aria conservano lungo tempo la loro temperatura attuale, l'effetto della comunicazione è maggiore di quello del raggiamento, e l'umidità si deposita per tutto.

146. Molti han potuto notare che il freddo che si sente l'inverno, è più vivo la sera che il giorno, più sotto un cielo sereno che nuvoloso; la spiegazione data innanzi della rugiada vale parimenti per ispiegare questi fenomeni; egli è del pari semplicissimo l'immaginare dover essere il freddo meno grande sotto una qualunque copertura, per esempio sotto un'ombrello, che all'aria libera.

Colla medesima teoria si spiega perchè un termometro annerato segna durante la notte una temperatura più bassa di quella che indica un termometro coperto di un'involuppo metallico.

La teoria del raggiamento spiega anche l'antico uso presso i giardinieri di coprire i peschi, gli albicocchi, ed altre piante delicate dall'azione del freddo, coprendole di stuoie sottili. Il Sig. Wells ha fatte dirette esperienze, le quali dimostrano beno che la teoria della rugiada avrebbe menato a questo mezzo, se non fosse stato stabilito da lungo uso. Per il che un termometro situato sotto un fazzoletto situato a qualche piede di altezza, indicherebbe 3 a 4 gradi di più che all'aria libera; e non altrimenti gli alberi elevati difendono le vigne negli inverni rigorosi.

Durante i freddi dell'inverno del 1794 le vigne della Borgogna senza alberi furono distrutte, e quelle con numerosi alberi resisterono al freddo.

147. Nel Bengala vien formato artificialmente il ghiaccio durante le notti in cui la temperatura dell'aria è superiore a zero. A tale effetto vengon praticate delle escavazioni quadrate di 30 piedi di lato e di 2 piedi di profondità; vien coperto il fondo di uno strato di canne da zucchero o di fusti di grano d'india; quindi su questo strato pongono vasi di terra non verniciati doppi di $\frac{1}{4}$ di pollice, profondi di 1 pollice $\frac{1}{4}$, e pieni d'acqua. In generale si è osservato che non si produce molto ghiaccio se non in un'atmosfera calma e sotto un cielo puro. L'acqua si raffredda per opera del raggiamento, poichè tutte le circostanze che favoriscono il raggiamento favoriscono la formazione del ghiaccio. Secondo il Sig. Williams, l'acqua in queste circostanze gela quando la temperatura della paglia che circonda i vasi è a 2° e anche a 5°, 6 al di sopra di zero.

La formazione di questo ghiaccio non è dovuta al freddo prodotto dell'evaporazione, poichè è provato 1° che il vento che favorisce l'evaporazione è contrario al successo dell'operazione; 2° che il ghiaccio si forma in gran quantità nelle notti stesse in cui è abbondantissima la rugiada, ed è contraddittorio il supporre che da una parte l'aria si

carichi di umidità, e che dall'altra l'abbandoni; 3° che la congelazione artificiale non ha mai luogo nelle circostanze non favorevoli al raggiamiento, per esempio, sotto un cielo oscuro; in fine in molte esperienze si è riconosciuto che il ghiaccio pesava più dell'acqua adoprata.

Un tal metodo è stato praticato in grande a *Saint-Denis*; ma lo stabilimento fondato a tale fine ha cessato di lavorare. Vi si ottennero però quantità immense di ghiaccio.

148. *Luna color ruggine.* I giardinieri dei dintorni di Parigi hanno osservato che quando il cielo è sereno durante le notti della fine di aprile e del principio di maggio, le foglie de' bottoni divengono color di ruggine; ed è questa la ragione per la quale si è chiamata la luna di tale epoca luna color ruggine. Se il cielo è nuvoloso, essi dicono, arresta i raggi frigoriferi dell'astro, e non li fa giungere sino alle piante. La spiegazione di questo fenomeno è simile a quella della rugiada, come l'ha fatto conoscere il Sig. Arago (*Annuaire* 1827). La luna non esercita influenza alcuna sulle piante; se non che quando essa è visibile, il cielo è sereno, il raggiamiento notturno è considerabile, e quindi le piante e tutti gli oggetti della superficie della terra provano una perdita considerabile di calore.

149. *Congelazione de' fiumi.* L'intensità e la durata del freddo, la velocità e la più o meno grande altezza delle acque, sono i soli elementi che sembran principalmente importanti ad esaminare quando si studia il fenomeno della congelazione de' fiumi. Il Sig. Arago ha mostrato che il raggiamiento notturno è anche una causa influentissima, e noi riferiremo alcuni esempj riportati da questo dotto.

Nel 1762 la Senna gelò tutta in seguito di sei giorni di gelata a ciel sereno quando la temperatura media era di -3° , 9, ed il massimo freddo non aveva oltrepassato -9 , 7; mentre nel 1748 la Senna non era punto gelata dopo otto giorni nuvolosi di una temperatura media di -4° , 5, e nei quali il freddo massimo era arrivato a -12° , 0; l'altezza delle acque era la medesima nelle due epoche; il raggiamiento del calore molto più grande nel 1762 che nel 1748 ha dunque determinato il raffreddamento della superficie dell'acqua. Il Sig. Arago rapporta altre circostanze nelle quali la serenità del cielo fu principal causa della congelazione della Senna. (*Annuaire* de 1828, p. 174)

Propagazione del calore nell'interno de' corpi. — Legge di questa propagazione. — Determinazione della conducibilità interna ed esterna.

150. Nel precedente capitolo, noi abbiam considerato la comunicazione del calore per via del raggiamiento a distanza; occupiamoci ora della comunicazione a contatto. I corpi son tanto diversi nella maniera di condurre il calore quanto son diversi nelle altre loro proprietà.

Il caso più semplice della propagazione del calore nell'interno dei corpi solidi è quello di un corpo terminato da due piani indefiniti mantenuti l'uno BC ad una temperatura costante b ; l'altro AD ad una temperatura costante a (f. 26 t. V). a essendo più grande di b , arriverà necessariamente un momento in cui ciascuna sezione parallela ai piani indefiniti conserverà una temperatura costante, e sarà attraversata conseguentemente da una stessa quantità di calore. Se noi ammettiamo che la comunicazione si faccia da una sezione alla seguente, proporzionatamente all'eccesso della temperatura della prima su quella della seconda, la differenza tra due consecutive sezioni qualunque sarà costante; di modo che le diverse temperature formeranno una progressione aritmetica decrescente dal piano AD al piano BC. Per la qual cosa e essendo la doppiezza del solido, z la profondità di una certa sezione di cui la temperatura è t , si avrà nello stato di equilibrio $t = a - \frac{a-b}{e} z$. Per un secondo corpo della medesima sostanza

di cui la doppiezza sarebbe e' , e le temperature estreme a' e b' , si avrà $\theta = a' - \frac{a'-b'}{e'} z'$. La differenza tra le temperature di due sezioni consecutive distanti di z e $z \pm d$ sarà $t - t' = \left(\frac{a-b}{e} \right) d$ nel primo, corpo e $\theta - \theta' = \left(\frac{a'-b'}{e'} \right) d$ nel secondo.

Le quantità Q e Q' di calore che passano dalla prima sezione nella seconda, per l'uno e l'altro corpo sarebbero proporzionali a $t - t'$ e $\theta - \theta'$ ed a $\left(\frac{b-a}{e} \right) d$, e $\left(\frac{b'-a'}{e'} \right) d$. Per il che si ha

$$Q : Q' :: \frac{a-b}{e} : \frac{a'-b'}{e'}.$$

Se si suppone $a' = 100^\circ$, $b' = 0$, $e' = 1^m$, e si rappresenti con K la quantità di calore che passa, durante l'unità di tempo, a traverso l'unità di superficie e l'unità di doppiezza, per una differenza di temperatura eguale a 100° , la proporzione precedente diviene:

$$Q = K \left(\frac{a-b}{e} \right).$$

Laonde si determinerebbe la quantità di calore che passa a traverso un metro di un corpo terminato da due piani paralleli mantenuti ciascuno ad una temperatura fissa, se si conoscesse la quantità che traversa un metro quadrato della medesima sostanza di una doppiezza eguale ad un metro, e di cui le facce sono mantenute l'una a 100° e l'altra a 0° .

Supponiamo un pallone formato da un metallo; immergiamolo nel ghiaccio a 0° ed introduciamovi una corrente di vapore che mantiene la temperatura della faccia interiore a 100° . La faccia esteriore sarà a 0 se si ha la cura di levar l'acqua a misura che il ghiaccio si fonde. Se P è il peso del ghiaccio; S la superficie esteriore o interiore (esse sono sensibilmente eguali), 75 il numero di gradi di cui si eleverebbe 1 chilogrammo di acqua colla quantità di calore assorbito dalla fusione di un chilogrammo di ghiaccio, t la durata dell'esperienza, e la doppiezza della parete del pallone, si avrà la

relazione $\frac{75 P}{S t} = K \frac{100}{e}$, dalla quale si ottiene K , la conducibi-

lità della sostanza. Forse tornerà più comodo di immergere il pallone in una gran massa di acqua. La conoscenza delle temperature al principio ed alla fine dell'esperienza farebbe egualmente conoscere K .

Se la faccia b , mantenuta sempre ad una temperatura costante, rag- giasse in un recinto alla temperatura c ; allora se si rappresenti per h la conducibilità esteriore, vale a dire la quantità di calore perduto dall'unità di superficie durante l'unità di tempo, per una differenza di temperatura eguale all'unità, si avrebbe la relazione $h (b - c)$

$= K \frac{a - b}{e}$, la quale servirebbe alla determinazione di h , se gli altri

elementi fossero conosciuti. Si potrebbe del pari determinare quest'elemento per il raffreddamento de' corpi in un recinto mantenuto ad una costante temperatura.

151. *Propagazione in una sbarra.* La perdita che prova ciascun punto della superficie della sbarra pel raggiamento e pel contatto del mezzo circostante, rende questo caso più complicato del precedente; la sbarra è arrivata allo stato finale o stazionario quando ciascuna sezione riceve dalla sezione precedente una quantità di calore eguale a quella che ella cede alla sezione seguente ed allo spazio circostante.

Vi sono molti casi a considerare.

Caso nel quale la temperatura è la stessa per tutti i punti di una medesima sezione.

Se la sbarra è infinita, la temperatura vi è rappresentata dalla

formula $y = ME^{-ax}$. Per la qual cosa essa varia in progressione geometrica, quando la distanza x dalla sorgente varia in progressione aritmetica; se la sbarra è finita, la temperatura è data dalla formula

$y = ME^{-ax} + NE^{ax}$.

E se si considerano tre termini consecutivi di questa serie ricorrente, e si divide la somma dei due termini estremi pel termine intermedio, si avrà un quoziente costante in tutta l'estensione della sbarra.

Nel caso che la temperatura cangi nell'estensione di una sezione e che la sbarra sia infinita, la temperatura de' punti dell'asse bastantemente lontani dalla sorgente del calore varia in progressione geometrica quando la distanza da questa sorgente varia in progressione aritmetica; avverrà lo stesso in tutti i punti situati sulle parallele all'asse; di più la temperatura media delle sezioni normali all'asse segue la medesima legge (*Fourrier, Théorie de la Chaleur, p. 404*).

Se la sbarra è finita, le temperature de' punti situati sull'asse o su di una stessa linea al medesimo parallela, o in fine le temperature medie, delle sezioni intermedie seguono la legge data nel caso che la temperatura è la stessa in tutta la sezione. Egli è difficile assegnare la lunghezza che deve avere una sbarra di una sostanza e di una doppiezza data, perchè la legge si manifesti; ma se l'esperienza mostra che ella ha luogo come nelle nostre esperienze riportate sopra, ci possiamo servire de' risultati per la determinazione de' coefficienti di conducibilità.

Questa legge fu data la prima volta dal Lambert dell'Accademia di Berlino (Pirometria); i Sig. Rumford e Biot l'han confermata con delle esperienze.

Riporterò un'esperienza ricavata da una mia memoria sulla conducibilità, la quale bene metterà questa legge sotto gli occhi del lettore. (*An. de Ch. et de Ph. t. 19*).

L'esperienza è fatta con una sbarra di rame quadrata; il lato del quadrato è di 21^{mm}; i termometri sono distanti di 10 centimetri. Il diametro de' buchi nei quali sono i termometri, è di 6^{mm}; questi buchi arrivano fino a $\frac{2}{3}$ della doppiezza della sbarra. Questa è riscaldata mediante un *lume inglese* che è comodissimo perchè si maneggia facilmente, e produce poco calore nel luogo delle osservazioni. Un termometro sensibilissimo indica la temperatura dell'aria circostante; e si ha cura di renderla sensibilmente costante, necessaria condizione per far che l'esperienza sia esatta, la durata della quale è di circa sei ore. Bisognano due o tre ore perchè le temperature diventino stazionarie conservando la stessa intensità la sorgente del calore. (*f. 17 t. V.*)

RISULTATI

Termometri	Temperature	Eccessi sulla temperatura dell'aria	Quozienti della somma di due eccessi per l'eccesso intermedio.
1 ^{mo}	83°, 44	66, 36	2, 14
2 ^{do}	63, 36	46, 28	2, 15
3	49, 70	32, 62	2, 11
4	41, 40	24, 32	2, 17
5	35, 71	18, 63	
6	33, 26	16, 18	

La temperatura dell'aria è eguale a $17^{\circ}, 08$.

Essendo di 10 centimetri la distanza tra i due termometri consecutivi, le loro distanze dal fuoco del calore sono in progressione aritmetica; gli eccessi delle loro temperature su quella dell'aria formano una serie geometrica, poichè il *quoziente di due termini consecuti-*

vi è costante, come si vede nella terza colonna del quadro

$$\begin{array}{c} 46, 28 \\ 32, 62 \end{array} = 1, 4; \quad \begin{array}{c} 32, 62 \\ 24, 32 \end{array} = 1, 4; \quad \begin{array}{c} 24, 32 \\ 18, 24 \end{array} = 1, 4; \text{ e così in seguito. Il quo-}$$

ziente della somma di due eccessi per l'eccesso intermedio è inegualmente costante, come lo mostra la quarta colonna. 2, 14 è il quoziente di $66, 36 + 32, 62$ per l'eccesso intermedio 46, 28; 2, 15 è il quoziente di $46, 28 + 24, 32$ per 32, 62, e così in seguito. *Se gli eccessi di temperature fossero più considerabili, la serie esponenziale sarebbe alterata.*

La propagazione del calore varia colle dimensioni de' corpi; la perdita del calore essendo proporzionale all'aia delle superficie esteriori, e la quantità di calore che attraversa essendo proporzionale all'area della sezione, il decrescimento delle temperature è tanto più considerabile quanto più il contorno è minore; e se si cerchino in due sbarre della medesima sostanza, e di differenti doppezze, le distanze di due punti di esse dal fuoco ne' quali la temperatura è la medesima si trova che *siffatte distanze sono come le radici quadrate delle doppezze*. Ecco la ragione perchè impunemente si tien fra le mani un filo metallico alla distanza di qualche pollice dal punto arroventato.

Coloro che vorran conoscere la teoria della propagazione del calore in tutta la sua estensione, dovrebbero consultare l'opera del Fourrier e quella di Poisson.

152. Metterò in vista alcune altre esperienze. Le sbarre avevano le medesime dimensioni di quella di rame; furon coperte di una stessa vernice, affinchè avessero la medesima superficie raggiante.

Sbarre di ferro. Temperatura dell'aria = $13^{\circ}, 02$

Termometri	Temperature	Eccessi, ec.	Quozienti, ec.
1	$75^{\circ}, 92$	$62^{\circ}, 90$	
2	$49, 71$	$36, 69$	2, 34
3	$33, 64$	$20, 52$	2, 34
4	$25, 34$	$12, 32$	2, 33
5	$21, 21$	$8, 19$	2, 31
6	$19, 63$	$6, 61$	

Sbarre di stagno. Temperatura dell'aria = 17°, 34

Termometri	Temperature	Eccessi, cc.	Quozienti, cc.
1	80°, 75	63, 41	
2	52, 51	35, 17	2, 42
3	38, 86	21, 52	2, 36
4	32, 86	15, 52	

Sbarre di zinco. Temperatura dell'aria = 5°, 62

Termometri	Temperature	Eccessi, cc.	Quozienti, cc.
1	69°, 79	64°, 17	
2	43, 64	38, 02	2, 35
3	31, 05	25, 43	2, 20
4	23, 55	17, 93	

Sbarre di piombo. Temperatura dell'aria = 17, 12

Termometri	Temperature	Eccessi, cc.	Quozienti, cc.
1	82°, 25	65°, 13	
2	46, 54	29, 42	2, 72
3	32, 05	14, 93	2, 64
4	27, 11	9, 99	

153. La serie delle temperature soddisfa alla legge solo quando la conducibilità della sostanza è molto grande; di modo che nel piombo, il quale conduce il calore 5 volte meno del rame, questa legge è alterata.

Perchè si abbia una idea del decrescimento della temperatura nelle sbarre formate da sostanze poco conduttrici, io riporterò un'esperienza fatta con una sbarra di marmo, e farò ad essa seguire un'altra fatta con una sbarra di ferro di dimensioni ad un di presso eguali a quella di marmo. Ciascun lato della sbarra di ferro era di 26^{mm}; il lato della sbarra di marmo era di 26^{mm}, 45.

RESULTATI

Marmo bianco. Temperatura dell'aria = 17°, 15.

Termometri	Temperature	Eccessi, cc.	Quozienti, cc.
1	81°, 06	63°, 91	
2	23, 23	6, 08	10, 83
3	19, 18	1, 95	3, 87
4	18, 62	1, 47	

Sbarra di ferro. Temperatura dell'aria = 22, 92

Termometri	Temperature	Eccessi, ec.	Quozienti, ec.
1	87°, 04	64°, 12	
2	57, 25	34, 71	2, 42
3	42, 63	19, 71	2, 40
4	35, 44	12, 52	

Si vede che gli eccessi delle temperature della sbarra di marmo non hanno alcun rapporto con una serie geometrica.

154. Possiam ricavare dalle precedenti esperienze i poteri conduttrici. Il calcolo dà la relazione

$$\frac{kl}{kl} = \left(\frac{\log. x}{\log. e} \right)^n (a).$$

k è la conducibilità esteriore, l il contorno e s l'area di una sezione della sbarra, e la base di logaritmi neperiani; k , la conducibilità interiore. x si trova legato al quoziente costante q mediante l'equazione q

$= x + \frac{1}{x}$; se ci limitiamo a cercare i rapporti di conducibilità, la relazione (a) si semplifica e si riduce a $k = \frac{1}{(\log. x)^n}$, nel caso che

si prendono le sbarre di eguali dimensioni, e copronsi di una medesima vernice.

Questi risultati, eccettuatone quello relativo al platino, sono stati confermati dalle esperienze del Sig. James Forbes.

Sostanze

Numeri proporzionali alla proprietà conduttrice

Oro	1000
Platino	981
Argento	973, 0
Rame	898, 2
Ferro	374, 3
Zinco	363, 0
Stagno	303, 9
Piombo	179, 6
Marmo	23, 6
Porcellana	12, 2
Terra de'fornelli	11, 4

Il Sig. Forbes situa il platino tra il ferro e lo stagno; l'antimonio ed il bismuto dopo il piombo.

155. Ingenhous cercava le conducibilità (Jour. de Phy. 1789) co-

prendo di cera i cilindri di ciascun metallo, ed esponendoli tutti al medesimo fuoco. I poteri conduttori erano tanto più grandi per quanto più estesa era la parte sulla quale la cera si trovava fusa. Secondo tali esperienze l'ordine delle conducibilità sarebbe il seguente: argento, oro, rame, e stagno ad un di presso egualmente conduttori: platino, ferro, acciaio, piombo molto meno conduttori degli altri.

156. La gran differenza che passa tra i poteri conduttori de' metalli e delle terre non è isfuggita lungo tempo all'osservazione, se non che prima che si fossero eseguite le esperienze i risultamenti delle quali vengon riportati nel n° 154, ben poco frutto su tale obbietto si era ottenuto.

157. In generale *i metalli sono buoni conduttori; gli ossidi, le pietre, la porcellana, le terre, il legno sono pessimi conduttori*; il legno è un conduttore talmente imperfetto che in una esperienza nella quale io ne voleva paragonare la proprietà conduttrice a quella del ferro io ho bruciata una sbarra di quercia ad uno delle sue estremità senza poterla riscaldare a qualche pollice di distanza. Il prisma sottomesso all'esperienza aveva le dimensioni della sbarra di rame di cui si è fatto innanzi parola.

Il Sig. A. de Larive, e Al. de Candolle sottomettendo a de'saggi analoghi a quello di cui si è parlato, molte maniere di legno, han riconosciuto che la facoltà conduttrice è un poco più grande nel senso delle fibre che nel senso contrario. (An. de Chi. et de Phy. t. 40 p. 91.

Della conducibilità de' fluidi.

158. L'ordinaria maniera di riscaldare i liquidi non è punto opportuna a far giudicare se questi corpi son dotati della proprietà conduttrice, mentre la grande facilità colla quale si stabilisce l'uniformità di temperatura ben potrebbe attribuirsi al trasporto delle molecole. Ed in vero, le molecole inferiori essendo da prima riscaldate, divengono più leggiere ed in conseguenza montano, nel mentre le molecole della superficie più fredde e quindi più pesanti cadono nel fondo del vaso, di modo che anche nella supposizione di una conducibilità nulla, il solo movimento interiore basta per far concepire la facile distribuzione del calore. L'esistenza di queste correnti vien dimostrata con una semplicissima esperienza. Si riempia d'acqua ordinaria un gran globo, vi si facci gettito di un poco di segatura di legno di quercia, e si esponga al fuoco, ben tosto si vedranno le particelle di legno portate dalle correnti andar su e giù rapidamente. Molti fisici, e segnatamente il Conte di Rumford non hanno ammessa la conducibilità de' liquidi.

Murnai ha opposte all'opinione del Rumford esperienze concludenti. Ha egli situata la palla di un termometro nel fondo di un cilindro di cristallo riempito alternativamente d'olio, e di mercurio, ed in seguito ha avvicinato un corpo caldo alla superficie del liquido. Il

termometro è salito nell'uno e l'altro caso. Non si può qui attribuire la comunicazione al vaso poichè il cristallo assorbe e non propaga il calore, e d'altra parte, le molecole più calde e più leggiere della superficie non possono stabilire correnti. E' forza quindi conchiudere che il calore sia comunicato al termometro senza il mezzo del vaso, o delle correnti. Queste esperienze fanno aperto nel medesimo tempo che il mercurio più dell'olio conduce il calore.

159. La propagazione del calore ne' gas deve farsi come quella ne' liquidi. Quando si impediscono i movimenti dell'aria per mezzo di corpi leggieri, come piuma, lana, &c. diviene essa non ben conduttrice del calore. E' questa la ragione per cui talvolta si fanno le coperte di peluria di uccelli. Ciascun gas possiede un potere raffreddante particolare. L'idrogene, per esempio, più celeramente dell'acido carbonico raffredda un corpo solido (n° 128); ciò dipende dalla più grande mobilità delle particelle.

160. Si concepisce da quanto precede l'efficacia delle doppie invernate usate nei paesi del norte. Il calore raggiante del sole facilmente attraversa lo strato d'aria ed i vetri; nel mentre il calore oscuro interno ne è arrestato.

Si comprende ancora del pari il vantaggio delle abitazioni di legno su quelle di terra, ed il vantaggio di queste su quelle di pietra.

Similmente si fa aperto perchè la spessezza di un tramezzo di terra deve esser più grande di quella di un tramezzo di legno, e più piccola di quella di un tramezzo di pietra. La precedente teoria indica per le spessezze il rapporto inverso delle conducibilità.

Cangiamento di stato de' corpi.

161. I corpi in generale si presentano sotto tre stati: solido, liquido, gassoso. Lo zolfo, per esempio, è solido alla temperatura della superficie della terra; ma ad una più o meno elevata temperatura diventa liquido, ed anche gassoso.

Ogni corpo cangia stato ad una particolare temperatura; lo zolfo divien liquido a 109 gradi, e passa allo stato di vapore a circa 300 gradi.

Il ghiaccio fonde a zero, e si volatilizza a 100 gradi.

La fusione del mercurio ha luogo a — 39 gradi, e la sua trasformazione in vapore a + 360 gradi.

Prima del 1757 era universalmente ammesso esser sufficiente aggiungere ad un corpo, arrivato alla temperatura della sua fusione, una piccola quantità di calore per farlo fondere totalmente. Ma il celebre Black chiari la falsità di tale opinione dimostrando con fatti incontestabili, che un corpo solido nel momento della sua trasformazione in liquido *assorbe una quantità di calore più o meno considerabile, senza punto aumentare di temperatura*; e che, se per una qualunque circostanza, il corpo liquido passa allo stato solido, *abbandona il calore che ha assorbito durante la sua fusione*.

Si chiama *latente* il calore assorbito nel cangiamento di stato di un corpo, e che non contribuisce all'elevazione di temperatura.

162. Il ghiaccio a zero per fondersi ha bisogno di una tale quantità di calore capace ad elevare da 0 a 75° un'istesso peso di acqua. Ed in fatti, un peso di ghiaccio a zero unito ad un medesimo peso di acqua a 75° si fonde, e la temperatura della mescolanza è a 0.

Se nell'ultima esperienza, in vece di prender l'acqua a 75° gradi, si prenda, il che val meglio, a qualche grado al di sopra della temperatura dal mezzo circostante, e si mescoli con una quantità di ghiaccio tanto piccola da potersi fondere totalmente ed aumentar di temperatura, facilmente dalla temperatura della mescolanza si ricaverà il numero che esprime il calore latente del ghiaccio.

Sia M (A) il peso, e T la temperatura dell'acqua, m il peso del ghiaccio, t la temperatura della mescolanza: mt rappresenterà la quantità di calore presa dall'acqua proveniente dalla fusione del ghiaccio; $M(T - t)$ la quantità di calore perduto dall'acqua calda. Il primo prodotto è ben lontano dall'essere eguale al secondo, e bisogna aggiungervi il calore assorbito dalla fusione del ghiaccio. Se x rappresenta il numero di gradi del calore latente per l'unità di peso, mx sarà il calore latente pel peso m . Si avrà dunque l'equazione $mt + mx = M(T - t)$, dalla quale si ricaverà il valore di x .

163. Il calore assorbito dalla fusione del ghiaccio, o di tutt'altro corpo solido, deve ricomparire quando il liquido riprende il suo stato primitivo. Tra le differenti maniere di rendere questo sprigionamento di calore manifesto, la seguente è una delle più semplici: si prenda un tubo di 5 in 6 pollici di lunghezza, di $\frac{3}{4}$ di pollice di diametro, ripieno di una dissoluzione di solfato di soda saturata tra 30 a 40 gradi, e chiuso dopo l'ebollizione di una porzione del liquido. Tale dissoluzione, come vedrassi in altra circostanza, può essere agitata senza che cristallizzi; ma se si rompa l'estremità sottile del tubo, nell'istesso istante essa si restringe in massa, ed il calore sprigionato è tanto grande da rendersi manifesto col tatto.

Similmente l'acqua, nel momento della sua congelazione, abbandona tutto il calore che il ghiaccio esige per diventare liquido. Dipende da questo sprigionamento continuo di calore durante la congelazione dell'acqua il non consolidarsi una massa di liquido di qualche chilogrammo, se non dopo essere stata lungo tempo esposta ad un freddo vivissimo.

La gran quantità di calore assorbito dalla fusione del ghiaccio ci fa comprendere perchè una parte, quantunque poco considerabile di questa materia, resti per molto tempo all'aria senza fondersi, benchè del continuo involta in un'atmosfera, la temperatura della quale oltrepassa quella del ghiaccio fondente.

(A) M rappresenta il peso dell'acqua e della cassa; vedi il metodo delle mescolanze.

164. *Quadro de' punti di fusione delle principali sostanze.*

Mercurio	a	—	39°		
Ghiaccio			0	Piombo	322°
Fosforo			40	Cadmio	400 circa
Jodio			107	Potassio	58
Zolfo			109	Sodio	90
Stagno			213		
Bismuto			283		
Nitro					
Potassa					
Soda					
Zinco					
Antimonio					
Sal marino					
Cloruro di potassio					
Cloruro di calcio					
Vetro					
Argento					
Rame					
Oro					
Cobalto					
Nikel					
Gesso					
Fosfato di calce					
Cromo					
Ferro					
Manganese					
Terraglia comune					
Palladio					
Platino					
Uranio					
Titanio					
Cerio					
Rodio					
Osmio					
Iridio					
Calce					
Silice o sabbia pura					
Barite secca					
Porcellana dura					
Gres					

quasi alla temperatura rossa

forte temperatura rossa

Le più alte temperature
delle fornaci

infusibili al fuoco delle fornaci

fusibili per via di una corrente di
gas ossigene e idrogene.

Se l'esperienze nostre sono esatte, un corpo liquido non si rende mai solido alla temperatura a cui il solido corrispondente entra in fusione, *anche nello stato di agitazione*.

L'abbassamento è favorito dal riposo; un moto impresso a tutta la massa liquida, non ha per determinare il ritorno allo stato solido, l'influenza che hanno alcune vibrazioni che si fan nascere o un piccolo cristallo che vien gettato nell'interno del liquido (Muschenbroech).

Uno strato d'olio che ricopre il liquido e lo separa dall'atmosfera parimenti ritarda il punto di congelazione. A questo modo il Signor Gay-Lussac ha raffreddata l'acqua pura sino a -12° . Sino a 20 gradi sotto zero noi abbiamo tenuto questo liquido chiuso in tubi ordinari termometrici. La presenza di un sale, di un acido o di un alcali, ritarda la congelazione dell'acqua, tanto più quanto l'una o l'altra di queste materie trovasi in più grande quantità nella dissoluzione.

Conversione de' liquidi in vapori.

165. Ci si presentano nella volatilizzazione de' liquidi alcuni fenomeni analoghi a quelli che osservammo nella fusione de' solidi.

L'accrescimento di temperatura di un liquido pel calore che ricevo ha un certo termine, ch'è la temperatura della ebollizione; un liquido qualunque nel suo punto di ebollizione possiede una forza elastica capace di vincere la pressione alla quale va sottoposto. Così l'acqua a 100 gradi può sollevare il peso dell'atmosfera.

Durante il tempo della volatilizzazione di un liquido, la temperatura rimane costante: tutto il calore che sopraggiunge esercita la sua azione per affrettar l'evaporazione, e quanto più s'aggiunge di calore tanto più l'evaporazione torna abbondante; ma un termometro immerso nel mezzo del liquido indica sempre la medesima temperatura. Egli è chiaro che si tratta qui di un liquido *omogeneo*, cioè a dire di un liquido del quale la parte che si volatilizza è la stessa nella sua composizione di quella non ancora volatilizzata.

L'acqua giunta a 100 gradi, temperatura della sua ebollizione, sotto la pressione media dell'atmosfera, esige per volatilizzarsi una quantità di calore capace a portare da zero a 535 gradi un simil peso d'acqua, se si avesse un mezzo qualunque da impedirne l'evaporazione, ovvero a portare da zero a 100° una quantità di acqua eguale a 5,35 volte il suo peso. Per provare questa proprietà del vapore, noi metteremo in una storta AB (f. 9 t. IV) dell'acqua pura; riscaldiamo a poco a poco quest'acqua fino a farla volatilizzare, e noi riceveremo il vapore in un vaso HK contenente una quantità d'acqua 5,35 volte maggiore di quella contenuta nella storta. Noi vedremo dopo la volatilizzazione dell'acqua della storta, e dopo la sua condensazione nel vaso, il termometro immerso in quest'ultimo indicare 100 gradi. Il vapore condensato conserva egualmente 100 gradi, ed in conseguenza ha solo perduto il calore latente, il quale ha elevato a 100 gradi

5, 35 parti di acqua a zero, ed avrebbe conseguentemente elevato a 535 gradi la temperatura di una parte di questo liquido eguale in peso al vapore.

166. Semplicissima è questa maniera di fare l'esperienza, ma poco esatta; affin di determinare il calore latente con precisione, si riceva il vapore in una più grande massa d'acqua fredda contenuta in un vaso di rame: si vegga la *f. 11 t. IV*; AB è il vaso che somministra il vapore, CD il *serpentino* nel quale si condensa: questo serpentino è circondato da una nota quantità d'acqua; il peso della cassa di rame è del pari noto; *mn* è un tramezzo che ripara la cassa dell'azione del fornello, e l'apertura O è destinata a dar passaggio all'aria della storta spinta fuori dal vapore.

Il calcolo per mezzo del quale si ottiene il calore latente è assolutamente il medesimo di quel fatto pel ghiaccio.

Sia *m* la massa e *T* la temperatura del vapore, *M* la massa e *t* la temperatura dell'acqua fredda, *T'* la temperatura della mescolanza; si otterrà *x*, calore latente dell'unità di massa di vapore d'acqua, risolvendo l'equazione $m(T - t') + mx = M(T' - t)$.

Il primo membro rappresenta il calore perduto dal vapore; il secondo il calore acquistato dall'acqua.

Applicherò questa formula ad una delle mie esperienze.

M, o la massa di acqua fredda è 15956, 30 grammi, la cassa ed il serpentino di rame pesano 3107³, 3: la capacità del rame rapportata all'acqua essendo 0,095, questa massa di rame rappresenta 2953³, 19 d'acqua; di modo che la quantità totale di acqua a riscaldarsi è 162518⁶, 49; *m*, o la massa de' vapori d'acqua condensati, è 204⁶, 8.

Il vapore è a 100°, l'acqua fredda a 22°, e la mescolanza arriva 29°, 58.

Il vapore ha perduto 100° — 29°, 58 o 70°, 42 di temperatura.

L'acqua ha acquistato 29°, 58 — 22°, o 7°, 58

Da ciò si deduce 531, 07 pel calore latente del vapore di acqua sotto la pressione media dell'atmosfera.

Il numero 535, dato innanzi è, il medio di molte esperienze analoghe. Quest'enorme calore latente fa ben concepire perchè sovente viene il vapore d'acqua impiegato oggi al riscaldamento degli stabilimenti di lavoro, ed i bagni delle tintorie, per cuocere i commestibili, pel biagheggiamento delle tele, per la disseccazione della polvere, ec. La Borsa di Parigi, e molti teatri vengon riscaldati per mezzo del vapore d'acqua.

167. Importante e non ha guari molto agitata quistione ella è, se la quantità di calore che contiene il vapore è varia o costante a differenti pressioni. Questa quistione è tanto più importante in quanto che si riannoda alla teoria del calore ed a quella delle macchine a vapore. Si può considerare come un fatto sufficientemente dimostrato dalle esperienze, che la variazione della quantità totale di calore è debole, di modo che per le arti si può ammettere che la medesima

quantità di calore, e conseguentemente il medesimo peso di combustibile basta per ridurre una determinata quantità d'acqua in vapore sotto una pressione qualunque.

Secondo Southern, il calore latente sarebbe costante, e la quantità totale crescerebbe di quanto si eleva la temperatura. Per esempio, se la quantità totale, sotto la pressione $0^m, 76$ e alla temperatura 100° fosse 635, essa diverrebbe 657 alla temperatura 122 sotto la pressione $0^m, 76 \times 2$, e così di seguito, ec. Secondo le esperienze de' Sig. Desormes, e Clément sul vapore di acqua, e secondo le mie sul vapore d'acqua, su quello dell'alcool, dell'eteresolforico, e dell'essenza di terebinto, la quantità totale di calore contenuto in un medesimo vapore sarebbe invariabile, nè l'aumento di pressione, e di temperatura avrebbero influenza alcuna. Per il che il numero 635 ottenuto sotto la pressione $0^m, 76$ ed a 100 gradi, sarebbe il medesimo ad una pressione e temperatura qualunque.

Persuaso che se le esperienze de' fisici francesi sopra mensionate, son sufficienti per le applicazioni delle arti, non posson punto servire a stabilire una legge fisica, e che anche la maniera di sperimentare del Sig. Southen, benchè suscettiva di maggior precisione, non è priva di difetto, ho ripreso il mio lavoro ed ho di nuovo fatto molte esperienze nelle quali la temperatura è stata portata a 160° ; ma la difficoltà di far sostenere gli apparecchi mi è stato sempre di ostacolo. Intanto io non posso più ammettere, in conseguenza di nuove mie esperienze che il totale calore del vapore sia costante; ma io lo reputo crescente colla temperatura, in modo che il numero de' gradi de' quali si accresce il calore totale, sarebbe minore di quello di cui si accresce la temperatura (A). Queste ultime esperienze, ha già qualche anno, furono subbietto di discussione alla Società Filomatica. I pezzi nel calorimetro erano talmente combinati, che il serpentino condensatore poteva esser tolto a volontà, di modo che si poteva ottenere il vantaggio di pesare il vapore volatilizzato o quello condensato. Ho operato sopra più grandi masse di acqua; il numero del calore latente fu 540.

(Laplace, *Mécan. céleste*, lib. 12, *Ann. de Ch. et de Phi.*, t. 18; Poisson, *Ann. de Chi. e de Ph.*, t. 23; Sig. Navier *giornale medesimo* t. 17, han considerato questo obbietto sotto l'aspetto teorico. Vedi le loro memorie).

Del freddo prodotto dalla fusione o da mescolanze frigorifiche.

168. L'esperienza ne ha istruiti che tutti i corpi solidi, arrivati alla temperatura della loro fusione, han mestieri per prender lo stato liquido una considerevole quantità di calore.

(A) Durante questa discussione che ebbe luogo tra Clément e me, il Sig. Dulong interrogato dal Sig. Clément rispose che alcune esperienze non pubblicate l'avevano del pari condotto a credere che il calore totale cresce colla temperatura.

La fusione di un corpo si opera mediante l'assorbimento di una quantità di calore più o meno grande. Se dunque per una qualunque causa, indipendente da una sorgente diretta di calore, si facci fondere un corpo, questo deve prendere da' corpi circostanti il calore necessario alla sua fusione, ed in conseguenza raffreddarli.

Per la qual cosa se si mescola una parte di sal marino con tre parti di neve, si ottiene un liquido il quale può abbassarsi sino a 20° sotto lo zero. In questo caso l'affinità del sal marino per l'acqua produce la fusione del ghiaccio. Qui l'effetto osservato è composto, poichè è la differenza tra il calore assorbito per la fusione del ghiaccio e del sale, e quello che si sprigiona nella combinazione del sale coll'acqua. Quando queste due quantità si compensano la temperatura della mescolanza non cambia; ma se la prima quantità supera la seconda si produce il freddo, e nel caso contrario risulta sprigionamento di calore.

In generale tutt' i corpi solidi i quali han perduto per mezzo del calore tutta la loro acqua di cristallizzazione, e che hanno una gran tendenza a combinarsi coll'acqua, nel mescolarsi col liquido sprigionano calore. Tali sono la calce, la potassa, il gesso, *calcinati*; mentre la più parte degli acidi, degli ossidi, e dei sali cristallizzati producono freddo nelle medesime circostanze; ed è questo il caso della potassa del solfato di soda, del nitrato di calce, ec, *cristallizzati*.

Esempi di mescolanze frigorifiche.

1 Nitrato d'ammoniacca	}	da 10° a — 15° , 6
1 Acqua		
1 Sal marino	}	da 0° a — 20°
3 Neve		
3 Cloruro di calcio cristallizzato	}	da — 20° a — 55° , 5
2 Neve		
3 Solfato di soda cristallizzato	}	da + 10° a — 16° , 11
2 Acido nitrico allungato		
8 Neve	}	da — 55° a — 68° , 3
10 Acido solforico allungato		

Quest'acido solforico debole è di una composizione particolare; è una mescolanza di 8 parti d'acido solforico concentrato, 4 d'acqua, e 8 d'alcool.

Questa tavola ha bisogno di qualche schiarimento.

Del freddo prodotto per evaporazione.

169. Abbiamo precedentemente veduto come i liquidi nel momento del loro passaggio allo stato di vapore assorbono una quantità di calore considerabile. Or se per mezzo di vòto o di qualunque altra maniera venga un liquido a volatilizzarsi, deve togliere ai corpi circostanti o a se stesso quanto calore gli sia necessario nel suo nuovo stato. Pare essere stato Cullen il primo de' fisici che abbia avute idee nette sulla produzione del freddo per evaporazione, avendo egli ben conosciuto essere più grande il freddo nel vòto che nell'aria per esser ivi più rapida l'evaporazione; essere il freddo medesimo più grande per un vento caldo e secco che per un vento freddo e umido; produrre i liquidi tanto più freddo per evaporazione quanto sono più volatili. Egli è giunto fin'anche a congelare l'acqua nel vòto ponendo un vaso pieno di etere nitroso in un'altro che contenesse acqua. (Cullen *essai* ec.)

170. Dobbiamo a Leslie di Edimburgo un'esperienza bellissima mediante la quale è congelata l'acqua dal freddo prodotto dall'evaporazione di una porzione di siffatto liquido. La maniera di disporre l'esperienza è la seguente: sotto il recipiente di una macchina pneumatica si ponga un vaso di rame sottilissimo in forma di una sottocoppa, il quale poggi con tre piedi sopra un secondo vaso di cristallo pieno in parte di acido solforico concentrato; il peso del quale acido debba essere di una libra almeno; si metta nella sottocoppa una piccola quantità di acqua, per es. 15 grammi. Fatto il vòto ha luogo l'evaporazione con una celerità che dipende dalla temperatura, e poichè il vapore è condensato dall'acido, sarà continua la volatilizzazione. Ben presto l'acqua che rimane, sarà tanto raffreddata da congelarsi, e questa congelazione ancora avrà luogo quando l'acido solforico sia rimpiazzato per altre materie igrometriche, come il gesso calcinato, la calce viva ec. A questo modo si possono formare molte libbre di ghiaccio, ma fin'ora questa ingegnosa esperienza non ha ricevuto applicazione veruna in grande.

La tendenza all'evaporazione del ghiaccio si mantiene sino alle più basse temperature; così ponendo nell'acqua una picciola palla di vetro piena di mercurio mentre il vòto sia stato fatto durante qualche tempo, trovasi congelato il metallo; è ancora più evidente questa esperienza quando da prima la palla di mercurio sia cinta da una certa quantità di ghiaccio, e sospesa nel recipiente; vedesi lo strato diminuire in doppienza, e solidificarsi tosto il mercurio (*Ann. de Ch. t. 78*). E d'altra parte, per un'antica osservazione è chiaro, che il ghiaccio alla superficie della terra diminuisce insensibilmente a cagione del vento, quantunque il freddo si senga sotto zero.

Il massimo freddo prodotto per evaporazione dipende dalla temperatura de' corpi circostanti, poichè diminuendo del continuo la forza elastica del vapore come la celerità dell'evaporazione, verrà un

momento che il calore comunicato da' corpi circostanti agguagli quello assorbito dal vapore; allora il freddo è giunto al massimo, ed è chiaro che questo massimo è tanto più considerabile quanto più bassa è la temperatura de' corpi circostanti. Di fatti, risulta da un'esperienza del Signor Gay-Lussac che la congelazione del mercurio ha luogo facilmente se si ha cura di circondare nell'esperienza di Leslie il vaso pieno di acido solforico e la palla termometrica di un mescolgio di ghiaccio e di sale.

171. Noi noteremo qui i risultati di molte esperienze fatte dal Gay-Lussac sul freddo prodotto dall'evaporazione all'aria libera. Il fenomeno è un poco più complicato qui che nel vòto: da una parte l'evaporazione è ritardata dalla pressione dell'aria poichè essa è sensibilmente nulla in un'aria perfettamente calma; d'altra parte il freddo è necessariamente minore che nel vòto; ad una temperatura iniziale data è al suo massimo, quando il calore perduto per la produzione del vapore e pel raggiamento del corpo è eguale a quello che riceve la superficie del corpo dal contatto dell'aria e dal raggiamento de' corpi circostanti.

Per determinare il freddo corrispondente ad una temperatura data Gay-Lussac fa arrivare una corrente di aria secca sopra un termometro ricoperto di un tessuto di battista umida. L'aria esce di un gassometro a pressione costante, e si dissecca nel passaggio in un tubo pieno di cloruro di calcio, ed arriva in un secondo tubo, nel quale se ne riconosce la temperatura mediante un termometro sensibile; viene finalmente a percuotere il termometro a superficie umida.

L'influenza del raggiamento è ben debole in questa esperienza.

Quadro de' risultati.

Temperature dell'aria secca alla pressione 0 ^m , 76	Abbassamento di temperatura al di sotto della temperatura dell'aria prodotto dall'evaporazione	
0°	5°, 82	
1	6°, 09	
2	6°, 37	
3	6°, 66	
4	6°, 96	
5	7°, 27	
6	7°, 59	
7	7°, 92	
8	8°, 26	
9	8°, 61	
10	8°, 97	
11	9°, 37	
12	9°, 70	
13	10°, 07	21 — 13, 12
14	12°, 44	22 — 13, 51
15	10°, 82	23 — 13, 90
16	11°, 20	24 — 14, 30
17	11°, 58	25 — 14, 70
18	11°, 96	
19	12°, 34	
20	12°, 73	

Il freddo prodotto nell'aria, essendo tutte le altre cose eguali, deve essere tanto più grande quanto la densità dell'aria è minore, e ciò è conforme all'esperienza. Sotto una pressione 0^m, 65, essendo la temperatura dell'aria di 12°, 5, il freddo prodotto dall'evaporazione è stato di 10°, 5; in un'altra esperienza, essendo la temperatura dell'aria la medesima, e la pressione di 0^m, 50, il freddo è stato di 12°, 0.

Quanto precede è relativo all'aria disseccata completamente, di maniera che, in natura, il freddo è sempre minore per una data temperatura che quello indicato dalla tavola, poichè ne' tempi più secchi, in generale, l'aria contiene almeno i due quinti della umidità che prende nello stato di saturazione.

De' vapori.

172. Noi abbiamo a considerare i vapori solo sotto il rapporto della loro forza elastica, delle loro densità, e finalmente sotto quello della loro mescolanza coi gas; dapoichè ne' capitoli precedenti si è già trattato delle loro dilatazioni, e de' loro calori latenti.

Forze elastiche.

173. La forza elastica de' vapori che si appalesa in molte esperienze, determina il movimento delle macchine a vapore, e produce un gran numero di importanti fenomeni che in quest'opera verremo esponendo.

Volendosi dimostrare che un qualsivoglia vapore, per es. il vapore dell'etere, possiede all'ordinaria temperatura una forza elastica capace di sostenere una pressione abbastanza forte, si riempia di mercurio, quasi completamente, un tubo barometrico, il resto si riempia con un centimetro circa di etere solforico, e si rovesci tenendo il dito sulla parte aperta, sino a che venga immerso in un bagno di mercurio. Allora, togliendo il dito, si vedrà il mercurio nel tubo tenersi più di venti centimetri sotto al livello al quale arriverebbe se l'etere non vi fosse. L'abbassamento al di sotto del livello del barometro in questo tubo, solo può essere attribuito alla forza elastica del vapore, che premendo la superficie del metallo, per tal modo l'impedisce di montare all'altezza che aggiunge nel barometro in virtù del peso dell'atmosfera.

174. Per ottenere la forza elastica di un vapore sotto al punto dell'ebollizione, si porti, come per la prima volta fece il Dalton nel 1805 (*Manchester's Me. vol. 5*), il tubo di cui si è fatto parola a (f. 12 t. IV) differenti temperature, e sinotì ciascuna volta l'altezza del mercurio nel barometro e nel tubo contenente il liquido. La differenza è evidentemente il valore della forza elastica del vapore. Affin di dare al liquido che somministra il vapore una temperatura determinata, si mettono i due tubi in un'altro tubo più largo pieno d'acqua limpidissima, la temperatura della quale è data da un termometro sensibile a lungo serbatoio; è bene, perchè sia esatta l'esperienza, che il serbatoio del termometro occupi tutta l'estensione della parte del tubo pieno di vapori. E' da notare che la differenza delle due colonne di mercurio non è veramente il valore della forza elastica del vapore se non in quantochè per via di calcolo ogni colonna è rimenata a zero, come all'articolo del Barometro verrà indicato.

Facendo questa esperienza coi diversi liquidi, si riconosce che ciascuno di essi fa, alla temperatura della sua ebollizione, abbassare il mercurio nel tubo sino al livello del bagno nel quale è immerso. A questa temperatura, ciascun liquido dà dunque un vapore di cui la tensione può fare equilibrio alla pressione atmosferica, o a 0^m , 76 di mercurio circa.

175. Avvi un'altro processo per determinare le forze elastiche de' vapori al di sotto del punto di ebollizione, il quale è fondato sul principio, che un liquido in ebollizione produce un vapore, l'elasticità del quale è eguale alla pressione a cui è sottoposto. Si metta in comunicazione la storta che contiene il liquido ed una macchina pneumatica; un vaso intermedio contiene un barometro che fa conoscere l'elasticità del vapore nel momento dell'ebollizione: un termometro, il serbatoio del quale immerso nel liquido, ne indica la temperatura; una sostanza frigorifica convenientemente disposta, condensando il vapore a misura che esce dalla storta, impedisce che il liquido si disperda per mezzo dell'ebollizione, e permette che a piacere si faccia durare l'esperienza; d'altra parte si può determinare l'ebollizione ad una pressione qualunque. La f. 13 t. IV rappresenta quest'apparecchio. A è la storta, C è la sostanza frigorifica, B il vaso intermedio, K il tubo di piombo che stabilisce la comunicazione tra tutto l'apparecchio e la macchina pneumatica.

Questi due processi sono stati impiegati dal Signor Dalton nel suo grande lavoro sui vapori ed i gas. Il Signor Dulong ha impiegato il secondo colla modificazione del tubo condensatore, ed io me ne sono egualmente servito per le mie esperienze sulla legge delle forze elastiche de' vapori.

176. Il Gay-Lussac ha proposto un semplicissimo modo per avere l'elasticità del vapore a zero ed al di sotto. Questo modo consiste nel curvare il tubo barometrico, ed immergere l'estremità curva in un bagno di ghiaccio o di mescolanza frigorifica (f. 4 t. IV.)

177. Ci resta ora a conoscere le forze elastiche de' vapori al di sopra della pressione media dell'atmosfera.

Il Signor Dalton si è da prima servito di un tubo di barometro ricurvo in forma di sifone del quale è chiusa la parte più corta (f. 5 t. IV). Riempie di mercurio questo tubo al modo ordinario, e dopo averne fatto uscire intorno ad un centimetro, vi sostituisce il liquido del quale vuole esaminare il vapore, e poscia inclina il tubo tenendolo ben chiuso col dito; è chiaro che il liquido, in virtù della sua leggerezza, deve sempre montare nella parte più alta, e pervenire all'estremità del braccio più corto. Allora il Signor Dalton toglie una parte del mercurio, nota l'altezza di siffatto metallo nei due bracci, e porta a diverse temperature il liquido collocando il picciolo braccio in un cilindro metallico pieno d'olio o d'acqua più o meno calda; è chiaro che la forza elastica del vapore sostiene la pressione esterna, più l'eccesso del livello nel braccio lungo. L'opacità del cilindro metallico non permette che si prenda direttamente l'altezza del mercurio nel braccio più piccolo, ma si ottiene raddoppiando la colonna di mercurio elevatasi durante l'operazione sopra il livello primitivo nel più lungo, il mercurio essendosi abbassato nell'altra in eguale quantità; questa correzione suppone il diametro esattamente eguale nelle due braccia, ciò che raramente si avvera nella pratica. Si versa del

mercurio nel braccio più grande, secondo che si eleva la temperatura per ottenere di più grandi forze elastiche. Il Dottor Ure di Glasgow ha fatto una leggiera modifica a questo processo introducendo in un globo la parte chiusa (*f. 22 t. IV*), e quindi elevando il liquido del globo medesimo a differenti temperature. Si comprende benissimo che bisogna rimenare a zero ciascuna colonna, il che non è troppo facile.

Vi ha un'altro processo che noi tenghiamo più esatto e più comodo, il quale consiste a far bollire il liquido sotto un' alta pressione; l'apparecchio è *f. 15 t. IV* simile a quello impiegato (*f. 13 t. IV*) per determinare le forze elastiche sotto al punto di ebollizione. Solamente il tubo *K* s'immerge in una colonna di mercurio, ed il barometro è rimpiazzato da un tubo *ht* aperto alle sue due estremità, ed immerso con la sua parte inferiore nel mercurio. La forza elastica del vapore dovendo vincere la pressione esterna, più il peso della colonna *mn* di mercurio, potrà essere più o meno aumentata secondo che quest'ultima sarà più considerabile o meno. La forza elastica del vapore ha per misura l'altezza del barometro nel momento dell'esperienza, più l'altezza del mercurio nel tubo *th* del vaso intermedio.

Abbiamo impiegato quest'apparecchio nell'esperienze nostre sulla ricerca delle quantità di calore del vapore di acqua a diverse pressioni.

*Tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua tra — 20
e + 100 gradi (A).*

Gradi	Tensione	Gradi	Tensione	Gradi	Tensione	Gradi	Tensione
—20	1, 333	10	9, 475	40	52, 998	70	229, 07
—19	1, 429	11	10, 074	41	55, 772	71	239, 45
—18	1, 531	12	10, 707	42	58, 792	72	250, 23
—17	1, 638	13	11, 378	43	61, 958	73	261, 40
—16	1, 755	14	12, 087	44	65, 277	74	273, 03
—15	1, 879	15	12, 837	45	68, 751	75	285, 07
—14	2, 011	16	13, 630	46	72, 395	76	297, 57
—13	2, 152	17	14, 468	47	76, 205	77	310, 49
—12	2, 302	18	15, 353	48	80, 195	78	323, 89
—11	2, 461	19	16, 288	49	84, 370	79	337, 76
—10	2, 631	20	17, 314	50	88, 742	80	352, 08
—9	2, 812	21	18, 317	51	93, 301	81	367, 00
—8	3, 005	22	19, 417	52	98, 075	82	380, 08
—7	3, 210	23	20, 577	53	103, 06	83	398, 28
—6	3, 428	24	21, 805	54	108, 27	84	414, 70
—5	3, 660	25	23, 090	55	113, 71	85	431, 71
—4	3, 907	26	24, 452	56	119, 39	86	449, 26
—3	4, 170	27	25, 881	57	125, 31	87	467, 38
—2	4, 448	28	27, 390	58	131, 50	88	486, 09
—1	4, 745	29	29, 045	59	137, 94	89	505, 08
0	5, 059	30	30, 643	60	144, 66	90	525, 28
1	5, 393	31	32, 410	61	151, 70	91	545, 80
2	5, 748	32	34, 261	62	158, 96	92	566, 95
3	6, 123	33	36, 188	63	166, 56	93	588, 74
4	6, 523	34	38, 254	64	174, 47	94	611, 18
5	6, 947	35	40, 404	65	182, 71	95	634, 27
6	7, 396	36	42, 743	66	191, 27	96	658, 05
7	7, 874	37	45, 038	67	200, 18	97	682, 59
8	8, 375	38	47, 579	68	209, 44	98	707, 63
9	8, 909	39	50, 147	69	219, 06	99	733, 46
				70		100	760, 00

(A) Questa tavola è stata calcolata dal Signor Pouillet mediante la formula
 $at + bt^2 + ct^3$

$$t = 0^m, 76 < 10$$

la quale è formata della maniera seguente:

Se si rappresenti per A il coefficiente costante pel quale bisogna moltiplicare una forza elastica per avere la seguente, si avrà:

$$f = 0^m, 76 \cdot A, f_1 = 0^m, 76 \cdot A, f_2 = 0^m, 76 \cdot A^2 \dots f_t = 0^m, 76 \cdot A^t$$

E quindi $\log. ft = \log. 0^m, 76 + t \log. A$.

L'ipotesi di un coefficiente costante non è rigorosamente conforme all'espe-

178. Da lungo tempo era desiderata una tavola esalta delle forze elastiche del vapore d'acqua ad elevate temperature. I Signori Southern, Taylor, Perkins, in Inghilterra, e più recentemente il Signor Arzberger a Vienna si sono occupati di questo importante argomento. I Signori Arago, e Dulong non han guari han determinato con grandissima cura le tensioni del vapore d'acqua da 1 sino a 24 atmosfere. Quest'ultimo lavoro, che noi faremo conoscere, era stato domandato dal governo all'Accademia delle scienze.

L'apparecchio de' Sig. Dulong e Arago consisteva in una caldaia A di bandone più di 13 millimetri di doppiezza; la capacità era di 80 litri circa (f. 19 t. IV) Questa caldaia aveva un'orifizio *mn* nella parte superiore di 17 centimetri di diametro, il quale era chiuso da una lamina di ferro battuto di $4\frac{1}{2}$ centimetri di doppiezza, e munita di molte aperture una delle quali portava una canna di fucile e chiusa all'estremità che si immergeva nella caldaia; questa canna, piena in parte di mercurio, conteneva il serbatoio di un termometro, l'asta del quale era ricurva e chiusa in un largo tubo di vetro attraverso del quale passava una corrente di acqua fredda; questa disposizione permetteva di far la correzione della parte dell'asta che punto non partecipava alla temperatura della caldaia. Due canne simili immergendosi a differenti profondità, davano la temperatura della caldaia esattamente.

L'elasticità del vapore era ottenuta per via di un manometro B comunicante colla caldaia mediante un tubo *da'*; quest'ultimo ed il manometro erano mantenuti ad una temperatura costante per una corrente d'acqua fredda. La caldaia era involupata lateralmente da un muro solido destinato a proteggere gli osservatori contra ad un'esplosione da temersi in sì pericolosa esperienza.

rienza, di modo che bisogna a $t \log$. A sostituire un termine più composto; la sostituzione di un termine della forma $at+bt^2+ct^3$ conduce ad

$$ft = 0^m, 76 \times 10$$

Il Signor Laplace ha proposta questa formula con due termini, e Biot ha mostrata la necessità di aggiungervi un terzo termine: ft è la forza elastica alla temperatura t ; t è positivo al di sopra di 100, e negativo al di sotto; se primieramente si calcolino i coefficienti a , b , c per tre temperature, per esempio, per 25, 50 e 75 gradi, e se si sostituiscono i valori corrispondenti numerici nella formula, essa rappresenta allora molto bene tutte le forze elastiche intermedie. Egli è chiaro che più le tre temperature che servono alla determinazione di a , di b , e di c saranno avvicinate, meglio la formula rappresenta l'esperienza.

I citati fisici han determinato con questo apparecchio le tensioni del vapore d'acqua da 1 a 24 atmosfere (B).

Ecco la tavola che essi han formato:

(B) Per riportare i risultati a delle atmosfere intiere, è bisognato necessariamente impiegare una formola di interpolazione. Da 1 a 4 atmosfere il Signor Arago e Dulong han fatto uso di una formola proposta da Tredgold, e che è

$t = 85 \sqrt[3]{f} - 75$; t essendo la temperatura in gradi centesimali a partire da 0, ed f l'elasticità in centimetri di mercurio. Al di là di 4 atmosfere la for-

mula adottata è $t = \frac{\sqrt[3]{f} - 1}{0,7153}$; t è la temperatura in gradi centesimali a par-

tire da 100°, prendendo per unità l'intervallo da 0 a 100, ed f l'elasticità in atmosfere di 0^m,76. I Signori Arago e Dulong opinano che i risultati forniti da questa formola non sarebbero in errore di un grado a 50 atmosfere. La formola generale è $f = (a + bt)^c$

Tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua, e delle temperature corrispondenti da 1 a 24 atmosfere secondo l'osservazione, e da 24 a 50 atmosfere per via di calcolo.

Elasticità del vapore espressa in atmosfere di 0 ^m ,76 di mercurio	Elasticità in metri di mercurio a 0°	Temperature corrispondenti; termometro centigrado	Pressione sopra un centimetro quadrato in kilogrammi
			k
1	0 ^m ,76	100°	1,033
1 $\frac{1}{2}$	1,14	112,2	1,549
2	1,52	121,4	2,066
2 $\frac{1}{2}$	1,90	128,8	2,582
3	2,28	135,1	3,099
3 $\frac{1}{2}$	2,66	140,6	3,615
4	3,04	145,4	4,132
4 $\frac{1}{2}$	3,42	149,06	4,648
5	3,80	153,08	5,165
5 $\frac{1}{2}$	4,18	156,8	5,681
6	4,56	160,2	6,198
6 $\frac{1}{2}$	4,94	163,48	6,714
7	5,32	166,5	7,231
7 $\frac{1}{2}$	5,70	166,37	7,747
8	6,08	172,1	8,264
9	6,84	177,1	9,297
10	7,60	181,6	10,33
11	8,36	186,03	11,363
12	9,12	190,0	12,396
13	9,88	193,7	13,429
14	10,64	197,19	14,462
15	11,40	200,48	15,495
16	12,16	203,6	16,528
17	12,92	206,57	17,561
18	13,68	209,4	18,594
19	14,44	212,1	19,627
20	15,20	214,7	20,660
21	15,96	217,2	21,693
22	16,72	219,6	22,726
23	17,48	221,6	23,759
24	18,24	224,2	24,792
25	19,00	226,3	25,825
30	22,80	236,2	30,990
35	26,60	244,85	36,155
40	30,40	252,55	41,320
45	34,20	259,52	46,485
50	38,00	265,89	51,650

Le determinazioni di Southern e di Taylor, alcune delle quali giungono fino ad 8 atmosfere, molto bene si accordano con quelle de' Signori Dulong ed Arago. Quelle del Signor Arzberger che si estendono fino a 20 atmosfere (*Bullettin des Sciences.*, t. 1, p. 123) e che furon fatte con molta attenzione, danno in questo limite una differenza di 3 atmosfere. Questo Fisico attribuisce alla tensione di 20 atmosfere la temperatura di 222° la quale, secondo i fisici francesi corrisponde a 23 atmosfere. In fatti è ben difficile che per mezzo di valvole si possa misurare tanto bene la pressione quanto per mezzo dell'elasticità dell'aria; la temperatura, in queste diverse esperienze non era neppur conosciuta colla medesima certezza che nelle esperienze da noi riportate (Si veggano i particolari nel lavoro de' Signori Arago e Dulong, *Ann. de Ch. et de Phy.*, t. 43 p. 74).

179. In Francia si teneva essere le forze elastiche di tutti i vapori le medesime ad eguali distanze da' punti di ebollizione de' liquidi che li producono. Per il che, supposto che il vapore acquoso alla temperatura di 100 gradi, termine dell'ebollizione dell'acqua, sia capace di fare equilibrio ad una pressione di $0^m, 76$, che perda la metà di sua forza per una diminuzione di 18° , e che acquisti una forza doppia per un'accrescimento di temperatura eguale a 22° , 2, in conseguenza di tal legge, l'acool a 78° , 7 — 18° , l'etere solforico a 35° , 5 — 18° , e l'essenza di terebinto a 156° , 8 — 18° , avrebbero una forza elastica eguale a $0^m, 38$ metà di $0^m, 76$. Ciascuno de' medesimi liquidi a 22° al di sopra delle temperature delle loro ebollizioni avrebbero una forza elastica eguale a $1^m, 52$, o due volte $0^m, 76$.

Legge siffatta essendo ammessa, basta avere la tavola delle forze elastiche d'un solo vapore perchè si possa determinare la forza elastica di un'altro vapore ad una temperatura qualunque. Noi supporremo che una tale tavola sia stata stabilita pel vapore acquoso.

Si vuol conoscere, a cagion di esempio, la forza elastica dell'etere solforico a 18° , 5, dell'alcool a 55° , 4? Bisognerebbe togliere primamente 18° , 5 da 35° , 5, temperatura dell'ebollizione dell'etere; si avrebbe 17 per differenza. Si prenderebbe dalla tavola l'elasticità del vapore acquoso a 100° — 17° = 83° , e si troverebbe $0^m, 398$ che corrisponderebbe alla forza elastica del vapore di etere a 18° , 5. L'alcool a 55° , 4 si trova distante dall'ebollizione di 23° , 3, converrebbe dunque cercare nella tavola l'elasticità del vapore di acqua a 100° — 23° , 3 = 76° , 7, e si avrebbe $0^m, 306$ per la forza elastica del vapore dell'alcool a 55° , 4.

Questa legge intanto non è rigorosamente vera come si è supposta; riporterò le mie esperienze dalle quali risulta che l'acqua, l'alcool, l'etere solforico, e l'essenza di terebinto entrano in ebollizione, sotto pressioni eguali, a temperature non equidistanti da' loro punti di ebollizione sotto $0^m, 76$; in conseguenza di che a distanze eguali da questi ultimi punti, la forza elastica di ciascuno di questi liquidi non è la medesima.

Ad un'intervallo di mezza pressione la differenza presentata dall'etere solforico è di un grado, e quella dell'essenza di terebinto 7 gradi. Ho direttamente presa la temperatura dell'ebollizione del liquore degli olandesi e l'ho trovata di $85^{\circ}, 85$. Questo stesso liquido a $12^{\circ}, 17$ ha una forza elastica eguale a $0^m, 0558$. Se si cerchi nella tavola del vapore di acqua la temperatura alla quale questo vapore ha una forza elastica eguale a $0^m, 0558$, si troverà la temperatura $40^{\circ}, 59$ la quale differisce di $59^{\circ}, 05$ dal punto dell'ebollizione dell'acqua: aggiungendo $59^{\circ}, 05$ a $12^{\circ}, 17$ si dovrebbe avere $85^{\circ}, 85$ se la legge fosse vera, ed intanto si ha $71^{\circ}, 22$, cioè $14, 63$ di differenza (*Ann. de Chi. et de Phy.*, 1822).

Il Dottor Uré è stato condotto alla stessa conseguenza; ma noi opiniamo nondimeno che le esperienze di questo scienziato non potevano contenere la legge di Dalton, poichè i liquidi de' quali si è servito non erano perfettamente omogenei.

Sarebbe bene che la legge di Dalton fosse vera, poichè avrebbe servito a trovare la temperatura dell'ebollizione del liquido del quale se ne posse lesse piccola quantità. Molti chimici in tempo che le su riferite esperienze non erano conosciute si sono appoggiati su questa legge per alcune determinazioni del medesimo genere necessariamente inesatte.

180. Quantunque sia chiaro che la legge del sig. Dalton sulle forze elastiche de' vapori non è rigorosamente esatta, nondimeno questo celebre fisico ha renduto un'importante servizio facendola conoscere, essendochè le differenze che presentano i risultati dedotti da questa legge, con quelli che dà l'esperienza non sono considerabilissimi. Secondo questa legge l'acido solforico, il mercurio, ed i metalli volatili ad alte temperature, hanno, alla temperatura ordinaria, una elasticità inapprezzabile, ciò che in fatti è conforme all'esperienza. Si ha dunque la certezza che la colonna di mercurio nel barometro è depressa da una quantità infinitamente piccola dal vapore di questo metallo.

Ancora, pare esservi un limite ad ogni corpo, oltre il quale esso non è più soggetto ad evaporazione, come provano i fatti seguenti.

Una foglia d'oro locata nella parte superiore di un bocale, nel quale vi abbia qualche goccia di mercurio, imbianca nel corso di qualche mese se la temperatura si eleva a 20° circa, non ha veruna alterazione se la temperatura è vicina a zero (sig. Faraday).

Una lamina di zinco sospesa in un bocale al fondo del quale vi abbia dell'acido solforico, si conserva intatta anche nello spazio di due anni alla temperatura di Milano (sig. Bellani).

181. La presenza di una materia straniera cambia il grado di volatilità di un liquido; così l'acqua di mare non bolle che a 100° , e qualche grado; la potassa, il cloruro di calce, l'acido fosforico, ec. possono ritardare il punto dell'ebollizione dell'acqua più di 20 gradi. Mai un'acqua che scorre sulla superficie della terra bolle a cen-

to gradi, poichè ella contiene sempre qualche sale che ne aumenta la densità.

I numeri da noi riportati innanzi per le temperature de' punti di ebollizione di molti liquidi, suppongono che questi liquidi sieno presi nel più grande stato di purità.

L'Alcool del commercio, che è mescolato sempre con più o meno di acqua, bolle a 80° e qualche grado; l'etere solforico ordinario contiene dell'acqua, e dell'alcool, e però non entra in ebollizione che al di là di 40° .

182. Prima di lasciar ciò che riguarda forze elastiche, io citerò una considerazione ingegnosissima del Wollaston; in conseguenza di molte esperienze fatte a Londra egli ha conosciuto che un grado di variazione nella temperatura dell'ebollizione dell'acqua pura corrisponde a $0^{\text{mm}}, 027$ di variazione nell'altezza del barometro; risulta da ciò che un termometro sensibile situato in un vaso pieno d'acqua che venisse trasportato ed osservato successivamente al basso ed alla sommità di un luogo elevato, potrebbe far conoscere l'altezza del barometro di queste due stazioni, e quindi servire alla misura dell'elevazione del luogo. Non pare probabile che si voglia preferire questo metodo a quello per mezzo del quale direttamente si prendono le altezze barometriche, e che verrà esposto nelle addizioni alla fine dell'opera.

Densità de' vapori.

183 Son pochi anni da che si conoscono con esattezza le densità di alcuni vapori alla pressione media dell'atmosfera, ed al Gay-Lussac si deve il processo per mezzo del quale vengon conosciute. Considerato un tal processo d'una maniera generale, consiste nel misurare il volume del vapore fornito da un dato peso di liquido. Affin di farlo conoscere è mestieri entrare ne' particolari dell'esperienza. Si incominci col pesare una boccetta di vetro prima vòta, in seguito piena di liquido; si riempra riscaldandola nel suo corpo ed immergendo in seguito l'estremità aperta nel liquido: ben tosto l'aria interna si raffredda, si contrae, e permette al liquido premuto dall'atmosfera di entrare nella palla; si ripete l'operazione finchè tutta la boccetta sia compiutamente piena senza mescolanza d'aria; quindi si scalda un poco perchè esca una piccola porzione di liquido, e subito si chiude alla lucerna l'estremità del collo.

Si introduce in seguito la boccetta in una campana graduata A (f. 16 t. IV) alta un piede circa, e di due pollici di diametro, piena di mercurio, e che con la sua base è immersa in una caldaia di ferro fuso piena parimenti del medesimo metallo: inoltre è circondata da una massa d'acqua contenuta in un cilindro di vetro aperto da ambedue le estremità; la caldaia è messa sopra il fuoco, sicchè si può alzare la temperatura di tutto l'apparecchio. Ben presto la boccetta crepa, e l'acqua che vi si conteneva si riduce in vapore; si continua

a riscaldar l'apparecchio, finchè l'acqua che è nel suddetto cilindro bolla (A).

In questo momento si nota il volume occupato dal vapore, si nota del pari l'altezza del mercurio nella campana al di sopra del livello del bagno, e sottraendola dall'altezza del barometro situato nel luogo delle esperienze, si ha la pressione del vapore interiore. Ben si comprende, che ogni colonna di mercurio deve esser ridotta per via di calcolo alla temperatura del ghiaccio che si fonde; e di più bisogna aggiungere all'altezza del barometro il valore della piccola colonna di liquido del cilindro la quale pesa sul bagno di mercurio.

Convien assicurarsi se tutto il liquido è ridotto in vapore. Abbiamo visto che tutti i liquidi hanno al lor punto di ebollizione una elasticità eguale alla pressione atmosferica; se dunque vi fosse un'eccesso di liquido, il livello dell'interno della campana, alla temperatura dell'ebollizione di detto liquido, sarebbe quasi lo stesso che nel bagno; ed accrescendo la temperatura, si vedrà il vapore uscire dalla campana; nel qual caso farebbe mestieri ricominciare l'esperienza con una minor quantità di liquido. La temperatura dell'apparecchio almeno deve essere eguale a quella dell'ebollizione di quel liquido del vapore del quale si cerca la densità.

Vediamo ora come convien calcolare l'esperienza: si paragoni il peso di un litro di vapore al peso di un litro d'aria asciutta a $0^{\text{m}}, 76$ di pressione, ed alla temperatura del ghiaccio fondente e che è $1^{\text{e}}, 299$. Sia V il volume corretto di vapore somministrato da un pe-

so p di liquido, il peso di un litro sarà $\frac{p}{V}$, e poichè le densità sono

proporzionali ai pesi sotto il medesimo volume, si avrà, rappresentando coll'unità la densità dell'aria, con d quella del vapore, la proporzione

$$1 : d :: 1, 299 : \frac{p}{V}.$$

Il volume quale risulta immediatamente dall'esperienza, deve ricever molte correzioni relative alla pressione, alla temperatura del vapore, ed alla dilatazione del vetro.

1^o Sia h l'altezza della colonna di mercurio alzata nella campana al di sopra del livello del bagno, H l'altezza del barometro esteriore (B); $H - h$ sarà la pressione sostenuta dal vapore.

(A) Per i liquidi meno volatili dell'acqua basterebbe empire il cilindro con un'olio fisso.

(B) In H vien compresa l'altezza della colonna d'acqua del cilindro, moltiplicata pel rapporto della densità di questo liquido a quella del mercurio; val di-

re che se h' è l'altezza della colonna d'acqua $\frac{h'}{13,56}$ sarà ciò che è mestiere aggiungere alla pressione esteriore.

H ed h son rimenate a zero (*Vedi Barometro*). 2.^o Il volume V' osservato è troppo piccolo, poichè ciascuna divisione, in conseguenza della dilatazione del vetro, si è ingrandita nel rapporto di 1 a $1 + kt$, k essendo il coefficiente della dilatazione cubica della materia della campana 3.^o Il volume del vapore è dilatato nel rapporto di 1 a $1 + 0,00375 \times t$; avrem quindi le tre proporzioni:

$$\begin{aligned} V' : x &:: 0,76 : H - h; \\ x : x' &:: 1 : 1 + kt; \\ x' : x'' &:: 1 + 0,00375 \times t : 1; \end{aligned}$$

ciò che dà pel volume corretto l'espressione seguente:

$$\frac{V' (1 + kt) (H - h)}{(1 + 0,00375 \times t) 0,76} \quad (a).$$

184. *Esempio.* Densità del vapore acquoso secondo i dati dell'esperimente del Gay — Lussac:

Peso della boccetta piena d'acqua 18, 391

Peso della boccetta vota 08, 791

Peso dell'acqua per sottrazione 08, 600

Questa quantità d'acqua ha riempito alla temperatura di 100° 220 divisioni della campana; ogni divisione comprendeva 0lit., 005; la colonna di mercurio elevata nella campana sopra del livello del bagno era di 0^m, 052; il barometro esteriore indicava 0^m, 756, il coefficiente della dilatazione cubica del vetro da 0 a 100°, per ogni

grado centigrado è $\frac{1}{38700}$.

Sostituendo tutti questi dati nella formola, si trova che un litro di vapore pesa 0g, 8077 alla temperatura del ghiaccio fondente, e alla pressione 0^m, 76; nelle medesime circostanze un litro d'aria pesa 1g, 299, e poichè le densità sono in ragione diretta de' pesi sotto lo stesso volume, si trova che la densità del vapore è, 0,622, cioè quasi $\frac{1}{2}$ di quella dell'aria. Il Gay-Lussac, nell'istesso modo ha trovato le densità del vapore di etere, di alcool, di solfuro di carbone, e di essenza di terebinto, le quali vengon riportate nel seguente quadro

Quadro delle densità	Peso di un libro a zero ed a 0 ^m , 76 di pressione
Aria	18, 299
Vapore d'acqua	0, 810
d'alcool	2, 096
d'etere solforico	3, 360
di solfuro di carbone . . .	3, 436
d'essenza di terebinto . . .	6, 515

185. Il Dumas ha fatto uso di un processo il quale non ha l'esattezza del sù riferito ma bene ha il vantaggio di essere applicabile ai corpi i quali entrano in ebollizione solo tra 300° ed i 400°. Consiste nel prendere un globo con un collo molto sottile in cui si introducea

una quantità di liquido superiore a quella che sarebbe necessaria ad empir di vapore la capacità del globo. Il quale si riscada in un bagno di sabbia o di olio, e quanto il vapore abbia cessato di sprigionarsi si chiude alla lampada l'estremità sottile; si prende la temperatura del bagno che è sensibilmente quella del globo, si pesa quest'ultimo quanto si è ridotto alla temperatura de' corpi circostanti, e la parte sottile si rompe sotto l'acqua. Se l'aria è stata tutta quanta espulsa dal vapore, il globo si riempie di liquido completamente; nel caso contrario si riempie in parte d'acqua, ed in questo stato si pesa. E si pesa ancora successivamente pieno d'aria e d'acqua. Si hanno a questo modo i dati necessari per determinare la densità richiesta alla temperatura dell'esperienza. Il Sig. Dumas così ha ottenuti i seguenti numeri

Nomi de' corpi	Densità	Peso di un litro
Vapore di iodio	8, 716	11, 323
Vapore di mercurio	6, 976	9, 0625
Proto-cloruro di fosforo . . .	4, 875	6, 3582
Idrogene arsenicato	2, 695	3, 5043
Proto-cloruro di arsenico . .	6, 3006	8, 1852
Cloruro di silicio	5, 939	7, 7154
Acido fluorico silicato	3, 600	4, 676
Cloruro di boro	2, 942	5, 1212
Acido fluoborico	2, 3124	2, 901
Per-cloruro di stagno	9, 1997	11, 9514
Per-cloruro di titano	6, 836	8, 881

186. Era utile il ricercare se le densità de' vapori sono proporzionali alle pressioni che sopportano: e ciò fu da me fatto in una memoria (Ann. de Chi. et de Phys., 1822) per l'intervallo da 0 a 100 gradi. Il processo del Gay-Lussac dà le densità de' vapori sotto la pressione 0^m , 76, e quello di cui ho fatto uso le fa conoscere alle pressioni inferiori. Per ottenere il vapore perfettamente isolato, e alla temperatura de' corpi circostanti, si prenda un largo barometro a robinetto di un diametro triplo de' barometri ordinarij (f. 21 t. IV) e nella parte superiore del quale si introduca il liquido che si vuole assoggettare all'esperienza; vi si adatti un globo vuoto perfettamente d'aria, il quale ben tosto sarà riempito di vapori. Un barometro ordinario B si immerge nello stesso bagno di mercurio, di maniera che si conosca la forza elastica dalla differenza delle altezze del mercurio ne' due tubi; finalmente osservando un terzo tubo di barometro C che contiene l'istesso liquido, si giudica se sia al massimo la forza elastica, e per conseguente se sia saturato lo spazio (A) Il globo impiegato per l'e-

(A) Si è dubitato in molte opere francesi della esattezza di questo processo; nulladimeno io credo che esso è molto più esatto di altri proposti, ad eccezione di quello descritto in primo luogo.

sperienze aveva una capacità di 9^{lit}, 3746 alla temperatura di 15°.

L'acqua, l'etere solforico, il solfuro di carbone sono stati oggetti di queste ricerche; noi rapporteremo solamente qualche risultato somministratoci dal solfuro di carbone

1^a Esperienza. Temperatura dell'aria = 15°, 87.

Peso del globo vuoto	874 ^g , 97 ⁵
Peso del globo pieno di vapore	883 ^g , 16 ²
Peso del vapore	8 ^g , 187
Forza elastica	0 ^m , 199 ¹

Rimenando col calcolo il peso del vapore a zero, si trova 8, 648

Il peso del medesimo volume di vapore dato dal liquido in ebollizione sotto la pressione 0^m, 76, e rimenato a 0°, sarebbe di 32^g, 249

II^a Esperienza. Temperatura dell'aria = 14°, 78

Peso del globo vuoto	875 ^g , 018
Peso del globo pieno	880 ^g , 212
Peso del vapore	5 ^g , 194
Peso ridotto a zero	5 ^g , 486
Forza elastica	0 ^m , 127 ²

I pesi 32^g, 249, 8^g, 648, 5^g, 486, sono proporzionali alle forze elastiche 0^m, 76, 0^m, 199; e 0^m, 127.

Risulta da queste e da altre analoghe esperienze, che la densità de' vapori ridotti per calcolo ad una stessa temperatura sia proporzionale alle forze elastiche. Il Sig. Southern ha fatto sul vapore d'acqua in una scala abbastanza estesa delle esperienze che gli hanno fatto ammettere la proporzionalità delle densità alle elasticità senza le correzioni della temperatura. Questa opinione non pareva molto fondata. I risultati che non ha guari rapportavamo sull'estensione della legge di Mariotti a' vapori, non debbono esser considerati come veri che ristretti in alcuni limiti.

187. Il Sig. Cagniard de Latour ha cercato gli effetti prodotti sopra molti liquidi dall'azione riunita del calore e della compressione. In tubi di vetro sigillati alla lampada egli chiude successivamente alquanto di acqua, di alcool, di etere solforico in quantità sufficiente solo per empire una parte delle loro capacità. I tubi sono riscaldati con precauzione. Il liquido interiore da prima si dilata, ed oltrepassato un cotai limite di espansione, ma lontano dal riempire tutta la capacità del tubo, si riduce in vapore senza lasciare la minima apparenza di liquido. Facendo così operare i vapori per pressione sopra un volume d'aria costante il Sig. Cagniard ha potuto conoscere la forza elastica. L'apparecchio adoperato è formato (f. 8 t. IV) di un tubo ABC avendo un millimetro di diametro in tutta la sua lunghezza ed un secondo tubo FDE attaccato al primo del diametro di 45 millimetri; il mercurio occupa lo spazio BCDF, ed il liquido quello FDE, il tubo stretto ABC è pieno d'aria e fa funzione di manometro.

Ecco i risultati ai quali il Cagniard è pervenuto: l'etere solforico si riduce in vapore alla temperatura di 200 gradi in uno spazio minore del doppio del suo volume allo stato liquido, ed esercita allora una pressione di 37 a 38 atmosfere. Portato alla temperatura di 259°, l'alcool si evapora del pari totalmente in uno spazio un po' minore di tre volte il suo volume allo stato liquido, e fa equilibrio a 119 atmosfere. Finalmente l'acqua, ad una temperatura poco diversa da quella della fusione del zinco, prende lo stato di fluido elastico in uno spazio ad un di presso quadruplo del suo volume allo stato liquido.

Per determinare il grado di calore dell'alcool e dell'etere, il Cagniard de Latour fa riscaldare in un Bagno d'olio i tubi che li contengono.

Questo processo non è suscettivo di grande esattezza, poichè l'elasticità ed il volume del vapore sono mal determinati, ma il risultato generale non è perciò meno importante. (*An. de Ch. et de Phys. t. 21 e 22*).

Pare straordinario da prima il vedere tanto vapore contenersi in sì piccolo spazio; ma è mestieri fare attenzione che la pressione è considerevolissima, e che in conseguenza di ciò che ci è noto intorno all'accrescimento rapido dell'elasticità de' vapori coll'aumento della temperatura, questi risultati non son forse lontanissimi da quelli che si dovrebbero ottenere.

Noi faremo il calcolo per l'etere solforico, il quale bolle a 35°, 5 sotto la pressione 0^m , 76. Ammettendo la legge del Dalton, la quale è approssimativa, si trova secondo la tavola delle forze elastiche del vapore d'acqua, che l'etere deve avere a 200° una elasticità eguale

$$\begin{array}{l} \text{atm} \\ \text{a } 48^{\circ}, 86. \text{Un litro di vapore d'etere pesa a zero } 3g, 36, \text{ a } 200^{\circ} \text{ e} \\ \text{alla pressione } 48^{\circ}, 86 \text{ peserebbe } \frac{3, 36 \times 48^{\circ}, 86}{1 + 0, 00375 \times 200} \end{array}$$

Se si divide il peso 715g, che è quello di un litro d'etere a 0° per questo peso, si ha 7, 6. Così il vapore di etere occuperebbe un volume che non sarebbe punto otto volte il volume del liquido a 0°. Se supponiamo l'etere portato a 200, il rapporto diverrebbe anche minore, e sarebbe 6, 7. Il peso 715g dovrebbe essere preso a 4°, la qual correzione apporterebbe una leggiera differenza.

Nella marinita di Papin si può elevare la temperatura più che nell'esperienza del Cagniard. Quest'apparecchio consiste in un vaso cilindrico di bronzo molto doppio, il coperchio del quale presenta una valvola chiusa per mezzo di una leva (*f. 18 t. IV*). Quando l'apparecchio ha acquistata una temperatura di 150° o più, se si toglie la valvola, una quantità di vapore esce portando seco una gran quantità di calore, ed il liquido restante si trova a 100°. Ben si può imagina-

re una temperatura, alla quale quest'apparecchio, pieno di liquido alla temperatura ordinaria, potrebbe ridursi a non contenere altro che del vapore denso quanto l'istesso liquido.

Quest'apparecchio serve nelle farmacie a riscaldare delle materie organiche in contatto coll'alcool o coll'etere solforico.

Da quanto precede possiam ricavare la seguente conseguenza: che i vapori seguono, dentro certi limiti, la legge del Mariotte, e che al di là de' quali, essi se ne allontanano considerabilmente. Del resto, noi vedremo che la più parte de' gas chiamati *permanenti* non obbediscono punto a questa legge.

Compressione de' gas.

La variazione del volume di una stessa massa di gas corrispondente ad una variazione di pressione segue una legge scoperta da Boyle, e Mariotte, la quale consiste in questo, che una stessa massa di gas occupa de' volumi che sono in ragione inversa delle pressioni alle quali vien sottoposta. Per dimostrare questa legge in una maniera sperimentale, si prenda un tubo di vetro ricurvo (f. 17 t. IV) del diametro di quelli impiegati pel barometro; bisogna che il braccio più corto abbia lo stesso diametro interiore in tutta la sua lunghezza. L'ordinaria lunghezza di questo braccio è di 6 ad 8 pollici, quella del braccio più lungo deve essere di 6 a 9 piedi. Il tutto è fissato sopra una tavoletta che porta una divisione adattata a due tubi. Si introduce per la parte aperta A una piccola quantità di mercurio, di modo che tornino eguali i livelli nelle due braccia; il volume dell'aria del braccio più piccolo allora sostiene la pressione esteriore, poichè le colonne della stessa altezza si fanno equilibrio; nondimeno versandosi del mercurio dal braccio più grande, in modo che nel medesimo il livello di questo metallo sorpassi quello del braccio più corto di una quantità eguale alla pressione esteriore, il volume d'aria sarà ridotto a metà. Se questa differenza, per via dell'addizione di una nuova quantità di mercurio, è portata a due volte la pressione esteriore, nel qual caso il gas del braccio più piccolo sostenga tre pressioni, il volume di questo gas sarà ridotto al terzo, e così di seguito. Bisogna notare, che l'aria deve esser completamente disseccata, e che la temperatura non debba punto alterarsi durante l'esperienza. Il piccolo quadro aggiunto, mette la legge sotto gli occhi del lettore.

pressioni	Volumi dell'aria
0 ^m , 76	100 parti
0, 76 $\times$ 2	50
0, 76 $\times$ 3	33, 3
0, 76 $\times$ 4	25

Si ha spesso occasione di ricorrere a questa legge per ridurre un volume d'aria ad una pressione costante. Ciò è facilissimo: per es.

150 parti d'aria sono alla pressione $0^m, 74$, si dimanda il volume alla pressione media $0^m, 76$. Si farà la porzione

$$150 : x :: 0,76 : 0,74, \text{ dalla quale si ha } x = \frac{150 \times 0,74}{0,76} = 146 \text{ parti.}$$

189. Si prova nel seguente modo che la legge di Mariotte sussiste al di sotto della pressione $0^m, 76$. Scegliesi un tubo graduato AB (*f. 10 t. IV*) e di un diametro stretto abbastanza perchè essendo volta al basso l'apertura non ne cada il mercurio; in questa posizione, la pressione supportata dal gas è eguale alla pressione esteriore H meno la colonna di mercurio BD, ossia ad $H - h$; nella situazione opposta la pressione è $H + h$; in fine se il tubo è orizzontale il gas sostiene H. Il volume dell'aria ne' due primi casi essendo V, V', si troverà sempre $V : V' :: H + h : H - h$.

Si arriverebbe allo stesso risultato chiudendo alquanto di aria in un tubo barometrico che si immergesse nel mercurio. Immergendolo in modo che il livello dell'interiore fosse quello del bagno, sollevandolo a differenti altezze, si vedrebbe variare il volume d'aria in ragione inversa delle pressioni. La pressione del gas in ogni caso sarebbe la pressione esteriore meno l'altezza del mercurio nel tubo.

190. Intanto ci si offrono due quistioni:

1^a La legge di Mariotte ha ella luogo a tutte le pressioni per l'aria, che è il gas che si impiega nelle *provette* delle macchine quando si ha bisogno di conoscere la pressione, come per es. nelle macchine a vapore, nelle trombe a condensazione, ec.?

2^a Tutti i gas seguono esattamente la legge di Mariotte, o in altri termini, sono essi egualmente compressibili?

Le esperienze de' Sig. Arago e Dulong han non ha guari risolta la prima quistione.

Ecco la descrizione succinta dell'apparecchio di cui questi fisici si son serviti. Tredici tubi di cristallo di due metri di lunghezza e di 5 millimetri di diametro eran disposti lungo un'albero verticale. Questi diversi tubi eran riuniti con ghiera metalliche, al di sopra di ciascuna delle quali eran disposte due puleggie sulle quali passavan de' cordoni attaccati ciascuno con un'estremità alla ghiera immediatamente inferiore, e portanti all'altra estremità un vaso di latta nel quale si metteva della gravaglia di piombo in quantità sufficiente per fare equilibrio al peso di ciascuna ghiera e del tubo che portava: con questa disposizione i tubi inferiori non eran caricati più de' tubi superiori. La parte AB della *f. 25 t. IV* rappresenta queste disposizioni.

Un vaso di ferro fuso S con tre tubature in parte pieno di mercurio comunicava con i tubi *dd'*, e con un tubo manometrico *aa'* del medesimo diametro de' precedenti e di una lunghezza di $1^m, 70$. Una corrente d'acqua HK manteneva il tubo *aa'* ad una temperatura facilmente valutabile. La tubulatura D riceveva una tromba premente, alla quale il vaso *g* somministrava l'acqua.

Questa tromba serviva a far salire il mercurio ad un tempo nella colonna *dd'*, e nel manometro *aa'*.

I Sig. Arago e Dulong han fatto 39 esperienze nell'intervallo fra 1 a 27 atmosfere, le quali dimostrano che l'aria segue la legge di Mariotte in questo intervallo; ma i dotti autori di tali ricerche opinano che la legge si sosterebbe molto al di là.

I medesimi fisici avendo provato che il tubo non pativa un sensibile allungamento sotto la più grande pressione, han conchiuso che la capacità restava del pari sensibilmente la stessa (Vedi i particolari nella memoria, *Ann. de Chi. et de Phy. t. 43 p. 74*).

Mentre gli accademici francesi si occupavano di questo importante lavoro, il sig. OErstedt, unitamente al capitano Suenson si occupava in Svezia di un lavoro analogo; egli ha trovato, misurando l'elasticità per mezzo di una colonna di mercurio, che l'aria segue la legge di Mariotte fino ad 8 atmosfere. Questi due fisici hanno estese le loro osservazioni fino a 60 atmosfere; in questa seconda serie di esperimenti essi pesavano lo stesso globo di rame, da prima vòto, poi pieno d'aria a diverse pressioni; essi han sempre trovato i pesi proporzionali alle pressioni. La pressione era misurata da' pesi necessari per chiudere la valvola del globo, la quale valvola consisteva in un'apertura chiusa da una lamina metallica sulla quale venivan situati de' pesi, e si sa ora che 11,03 sopra 1 cent. metro quadrato equivale ad una pressione. Introducevano il gas nel globo per mezzo di una tromba premente; non restava che l'aria, la elasticità della quale eguagliava la pressione esteriore, più la pressione della valvola; il resto usciva sollevando la stessa valvola. Questo processo non è certamente tanto esatto quanto quello innanzi descritto.

La seconda quistione fu risolta dalle nostre esperienze, dalle quali risulta che i gas sono inegualmente compressibili, e che paragonando i diversi gas all'aria atmosferica, i primi, almeno quelli da noi esaminati, son più compressibili di quest'ultima. L'azoto, l'idrogeno, l'ossigeno probabilmente si comportano come l'aria. L'apparecchio impiegato si vede rappresentato nella f. 26 t. IV.

Due provette A e B esattamente calibrate e piene, la prima d'aria atmosferica, la seconda di un'altro gas, eran chiuse in un tubo di vetro ben grosso pieno d'acqua; a questo tubo è adattato un cilindro di rame nell'interno del quale scorre uno stantuffo del medesimo metallo, che si spinge più o meno per avere una più o meno forte pressione. Facendo tutte le correzioni richieste in simili esperimenti e calcolando le pressioni per mezzo della diminuzione di volume, si vede che il gas ammoniacale, l'acido solforico, il cianogene, l'acido idrosolforico, ec. danno pressioni più forti di quelle date dall'aria. S'intende che ogni gas è a contatto col mercurio.

Questo risultato è contrario a tutto ciò che conoscevasi, poichè in tutti i calcoli relativi ai gas, venivan essi supposti, secondo la legge del Mariotte, egualmente compressibili.

Afin di farsi un'idea delle differenze che presentano i risultati calcolati coi risultati dell'esperienza, noi riporteremo le pressioni ottenute col gas ammoniacale, coll'acido idrosolforico, e coll'aria atmosferica perfettamente privi d'acqua e di materie straniere.

Pressioni indicate dall'aria.

0^m, 76
1, 819
2, 582
3, 863

Aria
0^m, 810
2, 243
3, 875
5, 789
7, 568
10, 837

Pressioni indicate dal gas ammoniacale.

0^m, 76
1, 850
2, 663
4, 132

Gas idrosolforico
0^m, 810
2, 293
4, 020
6, 031
8, 058
12, 018

Il sig. OErstedt ha trovato che il gas acido solforoso si allontana dalla legge del Mariotte presso al punto di liquefazione, ed ha ammessa questa legge in tutti i gas. Dalle nostre esperienze, al contrario, risulta che questo gas e tutti quelli che noi abbiain paragonati all'aria atmosferica danno, *in tutto il corso* della compressione, una *diminuzione di volume* più grande per una stessa pressione. Noi ripeteremo queste esperienze con tubi di un diametro piccolissimo, e che presentano de' rigonfiamenti in modo da offrire facilità a stimare le piccole frazioni di atmosfere, anche ad alte pressioni.

Liquefazione de' gas.

191. Il Faraday è arrivato a render liquidi per mezzo delle pressioni più o meno elevate un gran numero di gas, come l'acido solforoso, gli acidi idrosolforico e carbonico, l'ossido di cloro, l'ammoniacale, il protoossido di azoto ed il cianogene. Tutti i liquidi prodotti dalla condensazione di questi gas sono senza colore, eccettuato quello che dà l'ossido di cloro, tutti sono perfettamente fluidi volatili, ed in generale non si solidificano pel freddo. La prima esperienza fu fatta su i cristalli di cloro. È noto che una dissoluzione di questo gas ridotto ad una temperatura inferiore a 4°, 5 lascia depositare de' cristalli; i quali secondo le esperienze del Devy, son formati da una combinazione di cloro e d'acqua. Quest'illustre Chimico, a cui la scienza deve sì sublimi concepimenti, suggerì al Faraday l'idea di sottrarre questi cristalli all'azione riunita del calore e della pressione.

Furono introdotti de' cristalli di cloro, disseccati per quanto è possibile, in un tubo di vetro, il quale poscia veniva chiuso ermeticamente. Alla temperatura di 38° , essi si decomposero, e produssero due liquidi, uno de' quali di color giallo pallido, offriva l'aspetto dell'acqua, e l'altro di un colore giallo verdastro somigliava al cloruro d'azoto, ma può riguardarsi come *cloro puro liquefatto*, poichè il gas cloro disseccato ed esposto ad una forte compressione dà il medesimo liquido.

Il cloro liquido può esser separato dall'acqua per mezzo di distillazione ottenuta colla fiamma di spirito di vino. Esso è perfettamente limpido e fluido a 18 gradi al di sotto del zero; esposto alla pressione ordinaria dell'atmosfera si volatilizza, ma soltanto in parte, a cagione del freddo prodotto dalla medesima sua evaporazione (n° 169).

Quadro de' principali gas liquefatti.

Acido solforico liquido (densità 1,70)	a—7°	sotto 2 atmosfere
Cloro	a+15	sotto 4 atm.
Idrogeno solforato (dens. 0,9)	a+10	sotto 17 atm.
Acido carbonico	a 0	sotto 36 atm.
Protossido di azoto	a+7	sotto 50 atm.
Cianogene (dens. 0,9)	a+7	sotto 3,7 atm.
Acido muriatico (idroclorico)	a+10	sotto 40 atm.
Gas ammoniacale (dens. 0,76)	a+10	sotto 6,5 atm.

Ciascuno de' liquidi così prodotti deve avere ed ha in effetti una grande elasticità; per una subita elevazione di temperatura ritornano con violenza allo stato gassoso.

Si è proposto l'uso de' gas condensati come agenti meccanici. Il signor Brunel ha dato medesimamente il modello di una tromba lo stantuffo della quale è messo in azione dall'acido carbonico, alternativamente gassificato e liquefatto; ma fin' ora non è stata stabilita nessuna macchina di questo genere in grande. (Vedi le macchine a vapore)

192. Quando l'importante scoperta della liquefazione de' gas fu annunciata alla società Filomatica, dissi che avevo ottenuto sei anni avanti l'euclorino liquido, facendo passare questo gas disseccato in un tubo di vetro circondato da una mescolanza frigorifica; che il liquido era verdastro, che esposto ad un calore molto leggero aveva prodotta una detonazione simile a quella di un colpo di fucile, per cui il tubo di vetro era stato ridotto in polvere. Poco tempo dopo, da una lettera del sig. Faraday si seppe a Parigi che la detonazione di questa maniera di liquidi ha in effetti questo carattere. Dopo quest'epoca il sig. Bussy ha liquefatto, per via di una mescolanza frigorifica, il gas acido solforoso ed altri simili; aggiungasi che egli ha avuta la felice idea di far servire alla produzione de' grandi freddi questi liquidi volatilissimi. Per congelare il mercurio, per esempio, basta collocare sotto una macchina pneumatica una palla di termometro avviluppata

d'acido solforoso liquido e fare il vòto: in qualche minuto il mercurio è congelato. Per fare questa esperienza senza deteriorare la macchina pneumatica bisogna porre l'acido solforoso in un globo, e farlo assorbire, a misura che si sviluppa, per mezzo di una dissoluzione di potassa caustica.

Il sig. Thilorier ha fatto recentemente alcune esperienze curiosissime coll'acido carbonico liquefatto. Questo liquido pesa 0,83 a zero, si dilata 4 volte più dell'aria, cosa straordinarissima, se qualche causa di errore non ha ingannato l'osservatore; la sua elasticità aumenta dopo 0° sino a 30° nel rapporto di 36 a 73 atmosfere; è insolubile nell'acqua, solubilissimo nell'etere solforico. Dirigendo una corrente d'acido così mischiata sopra un tubo che contenga mercurio, in un'istante se ne può agghiacciare 50 gra.

Ancora, aprendo il robinetto del vaso di ferro fuso contenente l'acido liquefatto, e ricevendo il getto in un fiasco o in un bicchiere, si solidifica l'acido, ed appare sotto la forma di un deposito bianco fioccoso, che può essere tenuto tra le mani, ed a poco a poco si riduce in gas. Nella gassificazione del liquido si riconosce, ricevendo il getto sulla palla di un termometro ad alcool, che la temperatura si abbassa sino a — 90°.

Ci sembra probabile che tutti i gas si vengano consolidando per via del vòto o per una rapida corrente d'aria. Il sig. Thilorier prepara l'acido carbonico decomponendo il bicarbonato di soda in un vaso ermeticamente chiuso dall'acido solforico; quindi per distillazione fa passare il liquido in un'altro vaso.

193. La distinzione de' fluidi elastici in due classi non è dunque più ammissibile che in certi dati limiti. Si erano chiamati *gas permanenti* quelli che come l'aria atmosferica, l'acido carbonico, ec. conservavano il loro stato gassoso, sotto tutte le pressioni ed a tutte le temperature; e *gas non permanenti, o vapori* i fluidi elastici che perdono il loro stato per la compressione o pel raffreddamento: tali sono tutti i fluidi aeriformi che nascono dall'evaporazione dell'acqua dell'alcool, dell'etere solforico, ec. Vedemmo che i gas considerati sin' ora come permanenti, diventano liquidi, o per via di forti compressioni o per via di freddo. L'aria atmosferica, i gas azoto, idrogeno, ossigeno sono quasi i soli che non siano stati ancora liquefatti ma è probabilissimo che un giorno il siano. Ad ogni modo la distinzione può essere ammessa nelle ordinarie circostanze: così prendasi un tubo simile a quello impiegato dal Dalton a determinare le forze elastiche de' vapori sul punto dell'ebollizione; vi si introduca alquanto di etere solforico, immergasi nell'acqua calda il braccio più corto, il mercurio del più grande sarà tosto sollevato dal vapore; si versi allora un poco di acqua fredda sulla porzione del tubo che contiene il vapore di etere il quale all'istante sarà liquefatto. Ed immerso di nuovo nell'acqua calda il tubo medesimo, di nuovo si formerà il vapore di etere, che sarà tosto condensato quando qualche decimetro

di mercurio aggiungasi al braccio più grande. Il gas acido solforoso o ammoniacale, o acido idrosolforico abbian luogo dell'etere; alcuno di essi non prenderà lo stato liquido sotto un'aumento di pressione di qualche centimetro di mercurio, o sotto un abbassamento di qualche grado nella temperatura.

Mescolanze de' gas.

194. La mescolanza de' gas si opera in tutt'altro modo che quella de' liquidi i quali si situano nell'ordine della loro densità quando l'azione chimica non determina l'intima loro unione; i gas al contrario si mischiano indipendentemente dalle densità, e dalle affinità; è contestato questo fatto da un'esperienza facile a rinnovarsi: riuniscansi due globi, pievo l'uno di gas idrogeno, di gas acido carbonico l'altro, collocati nella posizione indicata da (f. 23 t. IV), il gas più leggero in alto, il più pesante al basso; esaminato al termine di un cotal tempo il gas di ogni globo, si vedrà essere della stessa natura, cioè composto delle stesse quantità d'acido carbonico e d'idrogeno. Ogni gas si spande per tutto lo spazio come nel vòto; questa proprietà de' gas dipende dalla loro porosità e dall'estrema mobilità delle loro particelle ec. La mescolanza si fa tanto più sollecita quanto la differenza della densità è più grande. (Dalton, Berthollet). Così deve essere omogenea l'atmosfera, composta cioè degli stessi elementi ad ogni altezza, e tanto è stato dimostrato.

195. Ora procediamo all'indagine della forza elastica di un mescolglio di molti gas, essendoci chiara la forza particolare di ciascuna. *Le forze elastiche si sommano senza alterazione nel mescolglio de' gas.*

1° Sia V un volume di gas alla pressione P chiuso in un vaso inestensibile; supponendo che si introduca un egual volume di un'altro gas anche alla pressione P , l'elasticità totale sarà $P + P = 2P$. L'introduzione di un terzo volume V alla stessa pressione P renderebbe la forza elastica totale eguale a $P + P + P = 3P$. 2° E supponendo che il volume sia sempre V per ogni gas, e le pressioni o le elasticità siano P, P', P'' ec, sarà la forza totale $P + P' + P'' +$ ec,; cioè eguale alla total somma delle elasticità particolari. 3° In tutti questi calcoli si suppone il vaso inestensibile, che se fosse estensibile e sottomesso ad una costante pressione, si aumenterebbe il volume sino al punto dove l'elasticità del mescolglio farebbe equilibrio alla pressione esteriore. 4° Se nondimeno i volumi in luogo di essere tutti eguali a V fossero V', V'', V''' , ec differenti da V , sarebbe mestieri calcolare la forza elastica di ogni gas colla legge di Mariotte; per esempio se l'elasticità corrispondente al volume V' fosse P' , si avrebbe l'elasticità di questo gas introdotto nel volume V colla proporzione $V : V' ::$

$$P : x = \frac{V'}{V} P'$$
L'elasticità della mescolanza sarebbe dunque

$P + \frac{V' P'}{V}$, dopo l'introduzione del volume V' nel volume V . Essa diver-

rebbe $P + \frac{V' P'}{V} + \frac{V'' P''}{V}$ dopo l'introduzione del volume V'' , e così di seguito. L'esperienza conferma tutti questi risultati.

Mescolanza de' gas e de' vapori.

196. Nella mescolanza di un vapore e di un gas, *la forza elastica del primo si unisce a quella del secondo*. Questo importante fatto scoperto dal Dalton, per molte maniere può dimostrarsi. Noi sceglieremo il 2° apparecchio (f. 27 t. IV) proposto dal Gay-Lussac, il quale è formato da un tubo di vetro cilindrico AB diviso in porzioni di eguali capacità, munito di un *robinetto* alla sua estremità inferiore. A qualche linea distante dal robinetto è adattato un tubo di vetro ricurvo CD di 2 a 3 linee di diametro. Riempiasi di mercurio recentemente bollito l'apparecchio disseccato accuratamente. Ciò fatto, si introduce l'aria ben secca pel tubo laterale, e però adattasi allo stesso altro tubo pieno di cloruro di calcio, e si rovesci l'apparecchio. Si riduce l'aria all'ordinaria pressione, o aprendo il robinetto inferiore per lasciar scorrere alquanto di mercurio, se la pressione interna è troppo forte, o versando del mercurio nel tubo laterale se ella è troppo debole. Si valuta il volume V d'aria secca. Per introdurre il liquido, si riempie di circa a tre linee di mercurio il tubo laterale. Riempiasi lo spazio vòto col liquido, e rovesciando poscia l'apparecchio, il medesimo liquido si farà passare nel tubo AB.

La forza elastica del mescolgio interiore è ora più forte della pressione esteriore. Il livello del braccio piccolo avanza quello del grande; lascisi scorrere il mercurio dal robinetto inferiore in fino che sia ristabilito il livello. Noi supponghiamo sempre che, malgrado l'aumento del volume, vi ha del liquido in eccesso; il che si fa noto introducendone una nuova quantità; se ve ne ha un'eccesso, l'addizione di questa nuova quantità non forma punto vapore, nè accresce l'elasticità del mescolgio. Si tratta dunque solo di trovare la forza elastica del vapore che si è formato nel gas.

La forza elastica del gas era al principio dell'esperienza eguale alla pressione esterna che da noi verrà rappresentata per H ; il gas allora occupava un cotal numero V di divisioni del tubo. Ne occupa intanto ora un numero più grande V' ; la forza elastica ne è mutata, secondo la legge di Mariotte, nella ragione inversa degli spazi V e V' : el-

VII

la è dunque attualmente $\frac{H V}{V'}$. Si conosce dalle tavole la forza ela-

stica del vapore nel vòto alla temperatura dell'esperienza; rappre-

sentiamola con f . Se essa è la medesima ne' gas, deve soddisfare all'equazione $\frac{VH}{V'} + f = H$, e questo appunto è ciò che si trova. Re-

sulta in conseguenza, che un *vapore mescolandosi ad un gas conserva la tensione che gli è propria*; laonde nella mescolanza de' gas e de' vapori, come nella mescolanza de' gas fra loro, ciascuna delle parti conserva la forza elastica che avrebbe se fosse isolata, alla temperatura dell'esperienza e sotto l'attuale volume. Noi abbiamo, per render semplice il calcolo, ridotta la mescolanza alla pressione esteriore, ma saremmo arrivati alla medesima conseguenza se l'elasticità della mescolanza fosse stata qualunque.

197. Proponiamo ora alcune quistioni che si incontrano frequentemente nelle ricerche di fisica e di Chimica.

Per esempio, essendo dato un volume di gas secco alla pressione H , si dimanda il cambiamento che proverà se vi si introduca un liquido il vapore del quale alla stessa temperatura abbia una forza elastica f . Ben si comprende che il vaso deve essere estensibile, senza di che la quistione non avrebbe luogo. Il gas aumenterà di volume fintantochè la sua elasticità, indebolita dalla dilatazione, unita alla forza elastica del vapore, faccia equilibrio alla pressione esteriore H . Quando il gas cesserà di dilatarsi, la forza elastica della mescolanza sarà eguale ad H ; quella dell'aria dilatata sarà dunque $H-f$; ma le forze elastiche de' gas sono in ragione inversa de' volumi, si avrà dunque

che la proporzione $V : x :: H-f : H$, quindi $x = \frac{HV}{H-f}$ pel volume.

Se $H=0^m, 76$, $f=0^m, 22$, $V=50$ parti del tubo, si avrà $x=70,37$ parti. Il problema sarebbe un poco complicato se la temperatura e la pressione cambiassero (A).

(A) Sia V un volume di una mescolanza di gas e di vapore alla temperatura t ed alla pressione H , si dimanda ciò che diverrebbe alla temperatura t' ed alla pressione H' , l'aria essendo sempre saturata. Noi rappresenteremo con f , f' le forze elastiche del vapore alle due temperature t , t' . Le forze elastiche corrispondenti dell'aria secca saranno $H-f$ e $H'-f'$. Ma noi sappiamo che i volumi sono in ragione inversa delle forze elastiche: avremo dunque

$$V : x :: H'-f' : H-f, \text{ e quindi } x = \frac{V(H-f)}{H'-f'}$$

Per tener conto del cambiamento di temperatura, è mestieri ricordarsi (n. 84) che se la temperatura t di una massa di gas diventa t' , il volume cangia nel rapporto di $1+at$ a $1+at'$, a rappresentando il coefficiente della dilatazione de'

198. Torna utile sovente il saper riconoscere, col soccorso del calcolo, se il cangiamento della elasticità di un mesceglia chiuso in un vaso inestensibile sia effetto di temperatura. Questo caso si presenta sopra tutto nelle ricerche sulla respirazione delle piante e degli animali. La soluzione di questa quistione dipende unicamente da' principi precedenti. Sia un vaso intieramente chiuso ed inestensibile (f. 24 t. IV); sieno H la forza elastica o l'elasticità del mesceglia indicato da un barometro, e t la temperatura; si osserva, dopo un'esperienza, che la prima è diventata H' , e la seconda t' .

Non è qui necessario tener conto della variazione del volume, poichè il volume è restato il medesimo; bisogna notare che se la temperatura di un gas contenuto in un vaso inestensibile si muti l'elasticità si muta esattamente in ragione diretta del volume che avrebbe preso il gas medesimo per effetto della nuova temperatura. Così, se il volume dovesse diventar doppio per elevazione di temperatura, diventerebbe doppia la forza di elasticità, restando lo stesso il volume. Quan-

gas; e però la formola generale sarà $x = \frac{V(H-f)(1+at')}{(H'-f')(1+at)} (a)$

Applicazione. Un volume d'aria umida è di 55^{lit.}, 37 alla temperatura di 15°, ed alla pressione 0^m , 73. Si cerca ciò che diverrà questo volume alla temperatura di 25°, ed alla pressione 0^m , 78, sapendo che la forza elastica del vapore d'acqua a 15° è di 0^m , 0128 ed a 25° di 0^m , 0231.

Si trova, ragionando su questi numeri come sulla formola, che il nuovo volume è

$$\frac{55,37 \times 0,73 (1+0,00375 \times 25)}{0,757 (1+0,00375 \times 15)}, \text{ ovvero } 54^{\text{lit.}}, 33.$$

Si renderebbe il problema un poco più complicato faccendovi entrare le densità d , d' del vapore. Se ne' limiti delle temperature t , e t' la legge di Mariotte è vera, si avrebbe

$$\frac{d' f' (1+at)}{d f (1+at')} = \frac{V' d' (H-f) f'}{V d (H'-f') f} \quad \text{Questa equazione moltiplicata per l'equazione (a), si avrà}$$

Se la quantità d'acqua fosse sufficiente o più che sufficiente per saturare il gas, vale a dire se si avesse $Hf' = H'f$ o $Hf' < H'f$, la formola (a) sarebbe applicabile. Nel caso in cui $Hf' > H'f$ o $V'd' > Vd$ essa non lo sarebbe, e bisognerebbe impiegare la formola generale de' gas

$$\frac{V'}{V} = \frac{H(1+at')}{H'(1+at)}$$

do la temperatura del miscuglio era t , la forza elastica del vapore f , quella del gas secco era $H-f$. La temperatura passando da t a t' , questa forza è divenuta $(H-f) \frac{1+at'}{1+at}$. Unendo a questa quantità la forza elastica f' del vapore alla nuova temperatura, la somma $(H-f) \frac{1+at'}{1+at} + f'$ dovrà essere eguale a H' , se non ha avuto luogo nè assorbimento nè sprigionamento di gas; nel caso contrario ha avuto luogo assorbimento o sprigionamento, secondochè H' è più piccolo o più grande della somma di cui si tratta.

Applicazione numerica.

Temperatura iniziale:	15°.
Altezza del manometro:	0 ^m , 772.
Forza del vapore elastico a 15°:	0 ^m , 0128.
Temperatura finale:	21°.
Elasticità della mescolanza:	0 ^m , 778
Forza elastica del vapore:	0 ^m , 0183
	$\frac{1+at'}{1+at}$

Eseguendo i calcoli, si trova $(H-f) \times \frac{1+at'}{1+at} = 0,7592 \times 1,07875$
 $\frac{1,07875}{1,05625} = 0,77537$ ed aggiungendovi la forza elastica del va-

pore $f' = 0,0183$, si ha $0,79367$. Se non avesse avuto luogo nè sprigionamento nè assorbimento di gas nel corso dell'esperienza, si dovrebbe trovare la pressione $H' = 0,778$ indicata dal manometro; or si trova una pressione più grande, vi è dunque stato assorbimento. Se il risultato calcolato fosse stato più debole della pressione osservata, avrebbe avuto luogo sprigionamento (B).

Si potrebbero proporre altri problemi, i quali si potrebbero sciogliere colla medesima facilità.

199. Tutto ciò che precede è eziandio vero alle temperature superiori della temperatura ordinaria. È sotto inteso, che i vapori debbono

(B) Noi abbiám supposto il vaso inestensibile: ma è facile aver conto del leggero cangiamento del volume che riceve; in fatti, K essendò il coefficiente della dilatazione del vetro, il globo si dilata nel rapporto di $1+Kt$ a $1+Kt'$. La forza elastica dell'aria secca è dunque diminuita nel rapporto di $1+Kt'$ a $1+Kt$, e conseguentemente in luogo di essere come sopra

$$(H-f) \times \frac{1+at'}{1+at} \text{ essa è } (H-f) \left(\frac{1+at'}{1+at} \right) \left(\frac{1+Kt}{1+Kt'} \right).$$

essere senza azione chimica su i gas coi quali vengon mescolati, come avviene con un mescolgio di vapori d'acqua, di vapori d'alcool, d'etere, con l'aria atmosferica, l'idrogeno, l'azoto o l'ossigeno; ma non sarebbe lo stesso per un mescolgio di gas ammoniacale e di vapore d'acqua, di gas idroclorico, e di vapore d'alcool, poichè l'azione chimica si esercita qui con grande energia.

Dell'evaporazione.

200. Un liquido esposto all'aria si dissipa più o meno facilmente, e ciò va sotto il nome di evaporazione.

La presenza dell'aria ritarda l'evaporazione, ma non modifica punto la quantità definitiva di vapore che può ammettere uno spazio, talmentchè, sia questo spazio vòto o pieno d'aria, *ammette ad una medesima temperatura la stessa quantità di vapore*: ciò risulta dalle esperienze citate (n° 196), le quali ci han chiarito che la forza elastica di un vapore è la medesima tanto nel vòto quanto in un gas qualunque; già Saussure aveva dimostrato nella sua Igomètria che la quantità massima di vapore che si forma in uno spazio dipende solo dalla temperatura.

L'ostacolo che l'aria oppone alla diffusione del vapore è messo in evidenza da un'esperienza del Fontana. Quest'abile fisico riempiva in parte d'acqua due storte, ad ognuna delle quali adattava un globo; faceva il vòto in uno degli apparecchi, e lasciava l'aria nell'altro; in seguito, riscaldando lentamente ciascuna storta, ben tosto vedeva che il vapore nel globo vòto si era condensato, nel mentre lentissima era l'evaporazione nel vaso pieno d'aria. È utile immergere ciascun globo in un vaso pieno d'acqua fredda.

Quindi non vi ha altra differenza tra l'evaporazione nell'aria, e l'evaporazione nel vòto che la prima è lenta, rapida la seconda.

201. Consideriamo ora la resistenza che l'aria libera oppone alla evaporazione; primieramente supponiamo questo fluido in riposo e situato sopra la superficie di una massa d'acqua alla temperatura ordinaria. Da prima il vapore acquoso s'introdurrà tra le particelle del primo strato d'aria in contatto col liquido; ma le particelle del secondo strato si debbono opporre alla sua ascensione (f. 28 t. IV) di maniera che se la calma è perfetta, l'evaporazione sarà estremamente lenta. Ma questo caso mai si presenta in natura, poichè l'agitazione dell'aria è sempre più o meno grande, e talmente favorisce l'evaporazione da avere la medesima rapidità in un'aria agitatissima e nel vòto. Per convincersene, si prenda un pannolino bagnato, si facci girare con forza all'estremità di una fionda, e basteranno pochi giri per disseccarlo completamente. Forse si potrebbe fare di questo fatto un'applicazione in grande all'asciugamento delle tele.

La circostanza che indebolisce l'evaporazione all'aria libera è l'umidità che questo fluido sempre contiene: nei tempi più secchi contiene almeno due decimi di tutta la quantità di umidità che può con-

tenere; e si comprende, che in circostanze eguali, l'evaporazione sarà tanto minore per quanto più la quantità d'acqua contenuta nell'aria si avvicinerà a quella che produce la saturazione.

202. Per compiere l'istoria dell'evaporazione, noi rammenteremo le principali idee de' fisici sulla formazione del vapore, e sul modo di esser nell'aria.

Musschenbroch fisico Olandese nel 1751 aveva assimilata la diffusione del vapore nell'aria alla dissoluzione de' sali nell'acqua, e Leroi di Montpellier sviluppò questa teoria, la quale tanto maggiormente fu accolta in quantocchè tendeva a far rientrare questo fenomeno inesplicabile sotto il dominio dell'attrazione. Leroi credè vedere l'aria sciogliere l'acqua nell'istesso modo, e colle medesime circostanze che questo liquido scioglie i sali. E però, come l'acqua riscaldandosi diventa capace di sciogliere una nuova quantità di sale, e di abbandonarne col raffreddamento una porzione che già aveva fusa, così l'aria, nell'istesso modo, a misura che si riscalda o si raffredda, ha bisogno di una maggiore o minor quantità di vapore per arrivare al massimo di saturazione. Il fatto dell'accrescimento della quantità d'acqua che può contenere l'aria a misura che la temperatura si eleva è vero, ma le conseguenze che ne deduce Leroi non sono punto esatte. L'affinità dell'aria per l'acqua non ha influenza alcuna nell'evaporazione; poichè noi sappiamo, secondo Saussure, che la quantità d'acqua che può ammettere uno spazio è la stessa tanto nel caso dello spazio vòto che nel caso dello spazio pieno d'aria: la causa produttrice del vapore è il calore, ed il vapore si spande nell'aria indipendentemente da ogni chimica azione.

Si potrebbe dimandare in qual modo il vapore si sostiene nell'aria alla temperatura ordinaria alla quale ha solo qualche millimetro di tensione; bisogna osservare che esso sopporta solo una parte della pressione proporzionale alla sua tensione. Di modo che esso è in qualche maniera sostenuto dalle molecole dell'aria.

203. Non sarà forse fuor di proposito dire qualche parola intorno all'azione de' liquidi su i gas non solubili.

L'esperienza ha dichiarato esistere sempre un costante rapporto tra la densità dei gas non disciolti e quella de' disciolti, o in, altri termini che la quantità di gas disciolto da un liquido è proporzionale alla pressione, o alla densità del gas non disciolto, o finalmente che il volume del gas disciolto ridotto alla pressione del gas non disciolto, è sempre una frazione istessa del volume del liquido, la quale varia per ogni gas, e se ve ne hanno molti in contatto col liquido, ciascuno opera come se fosse solo in rispetto alla particolar pressione a cui è sottoposto.

Per esempio, essendo l'aria in contatto coll'acqua, ed essendo H la pressione atmosferica, entrando l'ossigeno per $\frac{1}{100}$ nell'aria, e l'azoto per $\frac{79}{100}$, la pressione del primo sarà $\frac{1}{100}$ H, e quella del secondo $\frac{79}{100}$ H.

Se il gas in contatto col liquido ha un'indefinito volume, come l'atmosfera, la sua densità non muta punto per la dissoluzione di una parte.

Se il volume de' gas è limitato, si può benissimo da ciò che precede, calcolare per ciascuno la quantità assorbita. In fatti, siano V il volume de' gas, V' il volume del liquido; $d, d', d'' \dots$ le densità de' gas nelle mescolanze avanti la dissoluzione; $x, x', x'' \dots$ le densità dopo la dissoluzione; m il rapporto frazionario tra la densità del primo gas disciolto e quello di questo gas non disciolto; m' il rapporto analogo pel secondo, e così di seguito, si avranno le equazioni:

$$Vd = Vx + V'mx; Vd' = Vx' + V'm'x' \dots$$

Ciascuna equazione dà la densità del gas non disciolto, e quindi quella del gas disciolto.

Quando ne' laboratorj di chimica si vuol conservare del gas idrogeno puro, o altro gas poco solubile, non si lascia in contatto coll'acqua, poichè l'aria sciolta in questo liquido si sprigionerebbe e l'idrogeno si dissolverebbe per soddisfare alla costanza del rapporto del quale si è fatto menzione, di maniera che dopo alcun tempo l'idrogeno sarebbe mescolato a molt'aria.

Bisogna ben ricordarsi che qui non è quistione che de' gas poco solubili; cioè de' gas de' quali l'acqua prende una sola frazione del suo volume.

204. Con qual rapidità si fa l'evaporazione in un'aria quieta a diverse temperature? Il Sig. Dalton è giunto a questo risultato, cioè che la quantità d'acqua evaporata è sensibilmente proporzionale alla tensione del vapore, dopo la temperatura dell'ebollizione sino 58°, 8.

Essendo siffatta tensione, a queste temperature, molto più grande di quella del vapore che contiene l'aria, quest'ultima tensione può avere solo una leggierissima influenza. Per es. alla temperatura di 11°, la tensione del vapore al massimo non è che 10^{mm}, cioè $\frac{1}{8}$ di quella che risponde all'ebollizione.

205. Lo stesso fisico per valutare l'influenza dell'umidità dell'atmosfera, ha rinnovate a basse temperature le rapportate esperienze, ed ha riconosciuto che nelle stesse circostanze di riposo o d'agitazione dell'aria, la quantità di liquido evaporata è costantemente proporzionale a $f - f'$, cioè alla quantità d'acqua che manca all'aria per la saturazione completa.

Ancora il Dalton ha fissata la sua attensione sulla evaporazione de' liquidi differenti dall'acqua, ed il risultato delle sue ricerche è quasi quello a che dovevano condurre le condizioni d'indipendenza riconosciute nelle mescolanze delle sostanze aeriforme. Così, ha trovato che l'evaporazione dell'alcool è proporzionale alla tensione del vapore a quella temperatura nella quale è fatta l'esperienza.

Tutti questi risultati debbono essere tenuti solo come approssimativi a motivo della dilatazione del vapore.

L'igrometria è quella parte della fisica nella quale vengon richiesti i differenti gradi di umidità dell'aria. E gl'istrumenti adoperati a questo effetto si chiamano igrometri o igroscopi.

Nel tempo che sembra l'aria più asciutta allora chiude di molto vapore, di che per renderlo manifesto si colloca nell'aria un vaso pieno di mescolgio frigorifero, ed in qualche minuto il vapore si deporrà in istato di ghiaccio su per le pareti del vaso; un bicchier d'acqua fredda lo precipiterebbe nello stato liquido.

207. È da vedere come debbono determinarsi le quantità di vapore che l'aria contiene in differenti circostanze. Nel caso della completa saturazione, la tavola delle tensioni del vapore d'acqua sarebbe bastante a trovarle. Suppongasi per esempio essere la temperatura di 11° , dalla tavola (p. 150) la forza elastica del vapore a siffatta temperatura è $0^m, 010$; un litro d'aria a quest'ultima pressione peserebbe $\frac{1}{75}$ o $\frac{1}{74}$ di 18, 299 peso di un litro d'aria sotto la pressione $0^m, 760$, ed a zero o $0^m, 017$. Ma la densità del vapore d'acqua ad egualità di pressione non è che $\frac{1}{8}$ di quella dell'aria; bisognerebbe dunque ridurre il peso medesimo nel rapporto $\frac{1}{8}$, il che darebbe og, 0106. È mestieri ancora ridurre il peso dell'aria alla temperatura della esperienza, cioè dividere 18, 299 pel numero $1 + 0, 00375 \times t$; 0, 00375 essendo il coefficiente di dilatazione de' gas, e t la temperatura dell'aria.

208. Per via di esperienze dirette si può sempre determinare l'assoluta quantità di vapore contenuta nell'aria presa sotto un dato volume, sia qualsivoglia il grado di saturazione. Però mettesi questo fluido in contatto con un peso conosciuto di cloruro di calcio, di calce, o di tutt'altra materia avidissima di acqua. E questo processo è suscettivo di una precisione ben grande; d'altra parte vedremo potersi pervenire al risultato medesimo con la cognizione del grado dell'igrometro e del termometro.

Tutte le sostanze esposte all'aria libera variano nelle loro dimensioni e nel peso, così le corde di budello adoperate negli istrumenti musicali cangiano di tensione e di tuono; la carta, la pergamena perdono la loro elasticità; le radici di alcune gramigne, i capelli purgati con lisciva patiscono considerabili cangiamenti, il cristallo medesimo aumenta di peso in un modo sensibile come bene lo han dimostrato il Sig. Gay-Lussac e Fontana. Questi diversi corpi possono servire alla costruzione degl'igrometri. Noi descriveremo a parte a parte l'igrometro del Saussure il quale di ciascuno istrumento in genere siffatto è il più adoperato.

209. La parte principale dell'igrometro di Saussure è un capello;

ma poichè il capello nello stato naturale è vestito di una materia crassa, quando fosse naturalmente sottoposto all'azione della umidità provverebbe irregolari variazioni, epperò è forza prepararlo. Scelti i più molli capelli se ne forma un mazzolino della grossezza di un tubo di penna, il quale si tiene da venti a trenta minuti nell'acqua bollente ove si contenga un centesimo di carbonato di soda; appresso i capelli siano lavati e rasciutti, di modochè siano morbidi, trasparenti, brillanti. La dilatazione de' capelli ben preparati è di $\frac{1}{20}$ in lunghezza dopo l'estrema secchezza alla umidità estrema, mentre i capelli non ispogliati della loro materia crassa si dilatano solamente di $\frac{1}{40}$.

Così preparato il capello vien fissato alla sua parte superiore per via di una molla d (f. 1 t. V) ed alla parte inferiore avvolto intorno ad un'asse al quale sia attaccato un ago di che i movimenti siano misurati per un cerchio graduato ab . Tenuto verticale per un contropeso g di circa 15 centigrammi, sospeso ad un filo di seta, attortigliato nel medesimo cilindro; allorchè per l'assorbimento nell'aria di una picciola quantità d'acqua, si allunga il capello, il contropeso fa girare il cilindro, e conseguentemente camminar l'ago; secondo questa disposizione, una piccolissima varietà nella lunghezza del capello diventa sensibile pel moto più considerabile ch'ella cagiona nell'ago.

210. Per rendere paragonabile ogn'igrometro costruito su gli stessi principj, Saussure prende due termini fissi, l'uno è quello della estrema umidità, l'altro quello della secchezza estrema; determina il primo locando l'igrometro suo sotto un recipiente di vetro immergendosi nell'acqua, di che bagna le pareti; e sotto questo recipiente l'aria è necessariamente saturata. S'allunga il capello, al termine di un'ora giunge all'umidità estrema, e nota 100 il punto cui si arresti l'ago. Porta poi lo strumento sotto un'altra campana, quanto si può piccola, prende un pezzo di lastra di ferro, che tutta occupi l'altezza e metà della larghezza della campana, la copre di carbonato di potassa, la riscalda fino che non incominci ad arrossire; allora lascia raffreddarla perchè dal suo contatto non abbia origine la rottura della campana; colloca così adornato questo pezzo di ferro sotto la campana con l'igrometro, e lo lascia a questo modo finchè l'ago diventi stazionario. Si tosto come è chiuso col carbonato di potassa l'igrometro, con grande rapidità procede all'asciutto, di modochè percorra venticinque gradi pe' primi dieci minuti; a poco a poco nondimeno il suo corso si rallenta e verso la fine l'ago nello spazio di ventiquattr'ore percorre appena un grado. Se il sale sia convenevolmente apparecchiato l'ago al termine di tre di resta immobile. Questo punto è notato zero ed indica la estrema secchezza; vale cento parti l'intervallo tra i due termini fissi, ogni parte prende nome di grado. (*Essai sur l'Igrometr.* 13 — 15 — 23).

Tra l'igrometro ed il termometro questa differenza è notata, che i due punti fissi del primo rispondono a due stati assoluti, mentre i due

punti fissi del secondo consistono in due limiti presi al mezzo di una serie di punti che indefinitamente si distende al di sopra ed al di sotto de' suoi limiti.

211. Nondimeno poniamo l'igrometro in una massa di aria. L'azione del capello nel vapore d'acqua è similissima a quella delle sostanze disseccanti, poichè questi assorbe il vapore finchè indebolita la sua affinità non possa più precipitarlo. Fingiamo prima lo spazio saturato di vapore completamente; osservasi l'igrometro notare la estrema umidità qualunque siasi la temperatura. Poichè il capello, nelle diverse circostanze, s'allunga della stessa quantità, assorbe la quantità medesima d'acqua; e nondimeno la quantità di vapore contenuta nell'aria è tanto più grande quanto più elevata sia la temperatura, ma una forza assai lieve è bastante a precipitare il vapore di uno spazio saturato, e l'azione del capello è una forza di siffatto genere; e poichè picciolissima è la quantità che il capello esige per la sua saturazione in rispetto a quella che sussiste nell'aria, e deve prenderne la stessa quantità, qualunque sia la temperatura, perciò esso in un'aria saturata segna costantemente lo stesso punto. Se non che noi qui facciamo astrazione del cangiamento che produce il calore nelle dimensioni del capello.

Suppongasì lo spazio non completamente saturato, il vapore non cederà più ad una picciolissima forza per precipitarsi, potendo resistere ad un cotal grado di pressione e ad un cotal grado di raffreddamento. Ne risulta che l'effetto del capello si arresterà al momento nel quale l'azione che esercita sui vapori sarà eguale alla forza di pressione necessaria per precipitarli.

212. Da tutto ciò che si è detto sull'igrometro, si vede che quest'istrumento non indica che la maggiore o minore umidità dell'aria, e non indica punto la quantità assoluta di vapore. È importantissimo di conoscere i rapporti tra i diversi gradi dell'igrometro e le quantità d'acqua corrispondenti, e questo lavoro fù intrapreso dal Saussure (*Essai*, 96); ma oggi non possiamo riputarlo esatto, e ci limiteremo a dire che Saussure aveva osservato che l'effetto dell'umidità sul capello è tanto più piccolo quanto più l'aria si avvicina alla saturazione.

Gay-Lussac ha intrapreso il medesimo lavoro, ed ha seguito un metodo che è ad un tempo semplice e rigoroso. Questo metodo consiste a determinare la corrispondenza del grado dell'igrometro e la tensione del vapore. Il qual rapporto essendo determinato, basta ricordarsi che $\frac{1}{18}$ è la densità del vapore d'acqua per poter calcolare il peso assoluto dell'acqua contenuta nell'aria (vedi il cominciamento dell'*Igrometria*). Per ottenere il rapporto di cui è parola, Gay-Lussac situa successivamente l'igrometro in una gran campana col piede, contenente una certa quantità d'acqua pura o d'acido solforico convenientemente concentrato; in modo da dare i differenti gradi di umidità dell'aria dalla saturazione completa sino all'estrema secchezza. Egli determina a ciascuna esperienza la tensione del liquido nel vuoto.

to alla medesima temperatura. L'igrometro è fissato ad un disco di vetro lutato ermeticamente. Ben tosto quest'istrumento si mette in equilibrio coi vapori contenuti nell'aria, e si ferma ad un certo grado della sua divisione. Il Gay-Lussac in questo modo ha formato le due seguenti tavole.

Queste tavole sono state formate alla temperatura di 10° . A questa temperatura la tensione del vapore fornito dall'acqua pura è di $9^{\text{mm}}, 47$. L'igrometro situato nell'aria nella quale vi ha dell'acqua pura segna 100° ; e se all'acqua pura si sostituisca una mescolanza d'acido e d'acqua, la tensione del vapore è minore. Supponiamo che ella sia f , l'igrometro indica un certo grado al di sotto di 100 . Supponiamo 90° , se si rappresenta per 100 la tensione totale $9^{\text{mm}}, 48$, si avrà il numero corrispondente ad f colla proporzione $100 : 9^{\text{mm}}, 48 : f$.

Nell'istesso modo si otterrebbero tutte le tensioni rapportate a 100 tensione della saturazione.

TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello
0	0,00	34	57,42	68	84,06
1	2,19	35	58,58	69	84,64
2	4,37	36	59,61	70	85,22
3	6,56	37	60,64	71	85,77
4	8,75	38	61,66	72	86,31
5	10,94	39	62,69	73	86,86
6	12,93	40	63,72	74	87,41
7	14,92	41	64,63	75	87,95
8	16,92	42	65,53	76	88,47
9	18,91	43	66,43	77	88,99
10	20,91	44	67,34	78	89,51
11	22,81	45	68,24	79	90,03
12	24,71	46	69,03	80	90,55
13	26,61	47	69,83	81	91,05
14	28,51	48	70,62	82	91,55
15	30,41	49	71,42	83	92,05
16	32,08	50	72,21	84	92,54
17	33,76	51	72,94	85	93,04
18	35,43	52	73,68	86	93,52
19	37,11	53	74,41	87	94,00
20	38,78	54	75,14	88	94,48
21	40,27	55	75,87	89	94,95
22	41,76	56	76,54	90	95,43
23	43,26	57	77,21	91	95,90
24	44,75	58	77,88	92	96,36
25	46,24	59	78,55	93	96,82
26	47,55	60	79,22	94	97,29
27	48,86	61	79,84	95	97,75
28	50,18	62	80,46	96	98,20
29	51,49	63	81,08	97	98,69
30	52,81	64	81,70	98	99,20
31	53,96	65	82,32	99	99,55
32	55,11	66	82,90	100	100,00
33	56,27	67	83,48		

GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore	GRADI dell' igrometro a capello	TENSIONI del vapore
0	0,00	34	17,10	68	44,89
1	0,45	35	17,68	69	46,04
2	0,90	36	18,30	70	47,19
3	1,35	37	18,92	71	48,51
4	1,80	38	19,54	72	49,82
5	2,25	39	20,16	73	51,14
6	2,71	40	20,78	74	52,45
7	3,18	41	21,45	75	53,76
8	3,64	42	22,12	76	55,25
9	4,10	43	22,79	77	56,74
10	4,57	44	23,46	78	58,24
11	5,05	45	24,13	79	59,73
12	5,52	46	24,86	80	61,22
13	6,00	47	25,59	81	62,89
14	6,48	48	26,32	82	64,57
15	6,96	49	27,06	83	66,24
16	7,46	50	27,79	84	67,92
17	7,95	51	28,58	85	69,59
18	8,45	52	29,38	86	71,49
19	8,95	53	30,17	87	73,39
20	9,45	54	30,97	88	75,29
21	9,97	55	31,76	89	77,19
22	10,49	56	32,66	90	79,09
23	11,01	57	33,57	91	81,09
24	11,53	58	34,47	92	83,08
25	12,05	59	35,37	93	85,08
26	12,59	60	36,28	94	87,07
27	13,14	61	37,31	95	89,06
28	13,69	62	38,34	96	91,25
29	14,23	63	39,36	97	93,44
30	14,78	64	40,39	98	95,63
31	15,36	65	41,42	99	97,81
32	15,94	66	42,58	100	100,00
33	16,52	67	43,73		

La prima tavola dà il grado dell'igrometro corrispondente alla tensione del vapore, la seconda il contrario.

Queste tavole risultanti da esperienze fatte a 10 gradi, non sono applicabili che a questa temperatura: nulladimeno non si commetterebbe un grande errore, se se ne estendesse l'uso ad ogni altra temperatura.

Esse mostrano che non ha luogo proporzionalità alcuna tra l'allungamento del cappello ed il grado di umidità dell'aria. Esse danno i seguenti risultati.

Gradi dell'igrometro	Acqua dell'aria	Gradi dell'igrometro	Acqua dell'aria
0	0		
	1		6
22	—	79	—
	10		10
	2		7
39	—	85	—
	10		10
	3		8
53	—	90	—
	10		10
	4		9
64	—	95	—
	10		10
	5		10
72	—	100	—
	10		10

213. Avendo avuto bisogno di conoscere il peso del vapore contenuto nell'aria ad una medesima temperatura, ed a differenti gradi dell'igrometro, io riporterò qui il calcolo ed i risultati. Questi risultati esprimono le quantità di vapore acquoso contenuto in un metro cubico d'aria alla temperatura di 10°, corrispondenti ai differenti gradi dell'igrometro a capello contati da 10 in 10 da 0° sino 100°; è da altra parte noto che la forza elastica del vapore d'acqua a 10° è di 0^m, 00948.

Il peso di un litro d'aria a 0° e a 0^m, 76 essendo 15, 299, il peso

di un medesimo volume d'aria a 10° ed alla pressione $0^m,00948$ sarà $1,299 \times 0,00948$

$\frac{1,299 \times 0,00948}{1,0375 \times 0,76}$; e poichè la densità del vapore è $\frac{1}{18}$ di quella dell'

aria, il peso di un litro di vapore d'acqua a 10° sarà $\frac{1,299 \times 0,48}{1,0375 \times 76 \times 16}$

Or un metro cubico contiene mille litri, poichè il litro equivale ad un decimetro cubico. Il peso di un metro cubico di vapore alla temperatura di 10° è dunque eguale a 1000 volte quest'ultimo peso, vale a

dire a $\frac{1299 \times 9,48}{1,0375 \times 76 \times 16}$, 0 95, 761.

Moltiplicando questo numero costante pel rapporto della tensione del vapore ad un certo grado dell'igrometro, alla tensione totale rappresentata per 100 nel quadro, e di cui il valore assoluto è $0^m,00948$ si avranno le quantità di vapore che si trovano in un metro cubico d'aria a differenti gradi dell'igrometro, e che sono indicati nella seguente tabella:

Gradi dell'igrometro

Vapori contenuti in un metro cubico d'aria

0 gradi	0 grammi
10	0,446
20	0,922
30	1,443
40	2,028
50	2,713
60	3,541
70	4,606
80	5,976
90	7,720
100	9,761

214. Il sig. Dulong ha seguitato un differente processo, il quale consiste nel far giungere una corrente di aria saturata ed una d'idrogene secco, ciascuna con una particolare e costante celerità, in una grande campana dove si trovi sospeso l'igrometro; il quale si fisserà bentosto ad un grado determinato, nè si dovrà arrestare la corrente prima che il grado, per un tempo notabile, sia fissato. Ricevesi all'uscire il miscuglio, e per mezzi chiari alla chimica, si analizzi. Se, per esempio, giungessero 9 p. d'idrogene rasciutto, ed 1 p. d'aria umida, il miscuglio della campana chiuderà $\frac{1}{18}$ di quella umidità che chiuderebbe nello stato di saturazione. Rinnovando con differenti rapporti di volume d'aria e d'idrogene l'esperienza, si giunge a costruire una tavola simigliante a quella del n. 212.

215. Il sig. M. Melloni (Ann. de Chim. et de Phys. t. 43 p. 39) locando l'igrometro a capello nel vòto, ha formato una tavola analoga a quelle del sig. Gay-Lussac. Consiste l'apparecchio in un largo tubo barometrico, sul quale il sig. Melloni fissa la scatola ov'è custodito l'igrometro. Mettendo in questo apparecchio la sola quantità necessaria d'acqua alla saturazione della scatola, appresso più o meno elevando il tubo, si aggrandisce lo spazio, e per conseguente si diminuisce lo stato di saturazione. Dev'essere più difficile de' precedenti questo processo.

216. In quanto precede, non abbiamo dato uno sguardo all'effetto pirometrico. Per esempio, quando l'aria nella quale sia posto l'igrometro patisca una elevazione di temperatura, senza ricevere di nuovi vapori, il capello si raccorcia per evaporazione di una parte dell'acqua che chiude; e d'altra parte si riscalda e dilunga, di maniera che precisamente si osserva la differenza de' due effetti. Nè oggi si hanno dati abbastanza precisi sul surriferito soggetto.

217. È mestieri dir qualche parola degli altri igrometri. Quello dell'Accademia del Cimento era un vaso di forma conica pieno di neve o di ghiaccio, sospeso con la punta verso il basso; ed i vapori dell'aria si condensavano su la superficie esterna cadendo sotto forma di goccioline, che per la loro frequenza facevan giudicare del grado di umidità dell'aria, epperò siffatto istrumento era totalmente inesatto.

218. Leroy ha operato un più semplice metodo, il quale ha occupata l'attenzione de' fisici in questi ultimi tempi; un bicchiere è parte picuola d'acqua alla circostante temperatura, e per successiva addizione d'acqua a zero, vedesi precipitare il vapore su le pareti esterne del bicchiere, ed accuratamente si nota la temperatura alla quale ha cominciamento la precipitazione. Supponghiamo che esattamente sia conosciuta la temperatura della precipitazione del vapore, e ch'ella per esempio sia 12° ; cercando nella tavola delle forze elastiche, si troverà $10^{\text{mm}}, 7$, a questa temperatura; supponghiamo essere la temperatura dell'aria 18° innanzi l'esperienza, si prenderà nella stessa tavola la forza elastica corrispondente $15^{\text{mm}}, 4$; il rapporto tra la quantità d'umido che trovi nell'aria a quella che vi sarebbe quando l'aria fosse completamente saturato, sarà evidentemente quello di $10^{\text{mm}}, 7$ a $15^{\text{mm}}, 4$. Se si volesse la tensione del va-

$$1 + a \times 18$$

pore a 18° , bisognerebbe moltiplicare $10^{\text{mm}}, 7$ per $\frac{1 + a \times 18}{1 + a \times 12}$

sendo eguale a $0,06375$ che è il coefficiente della dilatazione de' gas.

Il sig. Daniele ha costruito un picciolo apparecchio assai comodo per esperienze di questa fatta, formato per due palle a e b di vetro sottile, intorno a tre centimetri di diametro (f. 25 t. V) l'asta ac chiude un termometro, il serbatoio del quale s'immerge nella palla a , piena in parte di etere solforico, nè punto contenente di aria atmosferica. La palla b è involupata di fina tela; e versandovi so-

pra l'etere si raffredda, e bentosto entra in ebollizione l'etere dell'altra. Si osservi l'andamento del termometro, si noti la temperatura alla quale il vapore dell'aria comincia a depositarsi su la parte *fg*. È questa la temperatura a cui sarebbe necessario ridurre l'aria esteriore perchè fosse saturata, e forse bene sarebbe di attendere che tutto l'etere fosse evaporizzato e che rimontasse il termometro, e bene sarebbe il notare la temperatura in cui sparisce il vapore depositato su la palla. La temperatura media fra quelle della volatilizzazione e della precipitazione sarebbe la temperatura che si dovrebbe prendere per la saturazione dell'aria. Un termometro *m* fissato al piede dell'apparecchio dà la temperatura dell'aria.

219. Leslie ha proposto un igrometro il quale altro non è che il suo termometro differenziale leggermente modificato. L'una delle palle è ricoperta d'un pannolino netto insuppato; l'evaporazione produce freddo, ed il liquido monta un certo numero di gradi. Il tempo necessario a determinare questo effetto non eccede mai due minuti. Vien graduato siffatto igrometro determinando il freddo prodotto in un'aria spogliata completamente di vapori d'acqua. E poichè il freddo prodotto è proporzionale alla evaporazione, ne risulta che dove il freddo in una osservazione sia metà del freddo massimo, l'aria manca della metà del vapore che le è necessario per la sua completa saturazione, e del pari in seguito. Nè questo strumento è tanto comodo quanto dapprima si crederebbe. È noto variare il freddo con la temperatura, e con la pressione, di manierachè è necessario avere tavole del freddo prodotto a diverse pressioni ed a diverse temperature; per esempio, dovendo far servire questo igrometro sur una montagna, bisognerebbe determinarvi precedentemente il massimo freddo in un'aria asciutta alla temperatura e pressione della montagna medesima. Ad ogni modo, è semplice questo igrometro, è di una facile costruzione, ed ha il privilegio di fare immediatamente chiara la quantità di vapore che trovasi nell'aria, e di esser meno alterabile degli'igrometri costrutti con le sostanze organiche (*On Heat Moisture*).

220. Si era anticamente proposto un'igrometro consistente in una palla di avorio piena di mercurio adattata ad un tubo di vetro capillarissimo. Il sig. Daniele Wilson ha rimpiazzato la palla d'avorio di questo strumento con una vescica di topo convenientemente apparecchiata. La graduazione si fa come quella dell'igrometro di Deluc; questo strumento secondo il sig. Wilson ha una grande sensibilità (*Ann. de Ch. e de Phys.* 5^o). È rappresentato nella figura 3 t. V. I risultati ottenuti con questo strumento dovrebbero essere corretti dalla temperatura.

221. L'igrometro di Deluc è poco differente da quello di Saussure, al quale è di qualche tempo posteriore. Il capello vi è rimpiazzato da una stecca di balena sottilissima tesa per mezzo di una molla. Per avere l'estrema schezza, locasi l'istrumento sotto una campana

piena di aria asciutta; quanto alla umidità estrema si ottiene immergendo la stecca tutta intera nell'acqua. È manifesto doversi graduare questo igrometro come quello di Saussure, tra perchè vi ha una differenza di più di dieci gradi tra l'inzuppamento e l'umidità estrema, e perchè il surriferito istrumento deve servire nell'aria umida.

222. Il signor Babinet ha fatta una modificazione all'igrometro di Saussure la quale lo rende più semplice nella sua costruzione, e nelle sue indicazioni più esatto. Il peso dell'igrometro modificato è sospeso liberamente al capello del quale direttamente vien misurato l'allungarsi vedendo con un microscopio fisso un segno inciso su questo peso. Il capello è attaccato nella sua parte superiore ad una vite micrometrica per mezzo della quale si alza o si abbassa finchè il segno del peso coincida col filo del microscopio; l'allungamento è segnato dal peso della vite micrometrica.

Il Delarive (*Ann. di Chi. et de Phys.* t. 3o p. 87) pensa potere stimarsi il grado igrometrico dell'aria, per via di un termometro coperto di un leggerissimo strato di acido solforico concentrato; ed affinchè sia sensibilmente di uniforme densità, durante un minuto, si tiene immersa la palla del termometro nell'acido, e se le dà una leggiera scossa; si espone all'aria, e l'acido impossessato de' vapori dell'aria sviluppa alquanto di calore. È chiaro che l'effetto termometrico tanto sarà più grande per uno stesso grado di umidità nell'aria, quanto ne sarà più elevata la temperatura, imperocchè sarà più grande l'assoluta quantità di vapori; dimodochè a rigore, bisognerà una graduazione a ciascuna temperatura.

Il sig. Dulong si è occupato a comparare l'igrometro di Saussure a quel di Deluc, e regna un perfetto accordo tra le osservazioni del sig. Gay-Lussac e quelle di questo fisico relative all'igrometro a capello, come nel quadro seguente vedremo. Nel quale la densità del vapore a 13° ,9 per la saturazione completa vien rappresentata da 100.

Densità del vapore a 13° ,9	Igrometro del Deluc	Igrometro del Saussure
0,0997	12°,2	28
0,1980	18,0	44
0,2976	22,5	55
0,4876	31,8	75
0,5912	37,5	84
0,6844	45,5	91
0,7797	54,0	92
0,8774	58,0	97,5
0,9762	70,0	102

Risulta dal quadro precedente che l'igrometro di Deluc è più sensibile di quello di Saussure verso l'umidità estrema, il che è un van-

taggio, ch  in natura l'aria non   mai vicinissima all'estrema s cchezza ad una temperatura, e ad una pressione comune; per esempio, alla superficie della terra l'igrometro a capello non si tien mai al di sotto di 30 gradi. Saussure non l'ha mai visto al di sotto di 40 , ed ho giudicato che generalmente e' si tenga a 60 . Il sig. Gay-Lussac nella sua ascensione aerostatica ha veduto discendere l'igrometro a 26 , essendo il termometro a -10° (Vedi nelle addizioni le esperienze fatte dall' Humboldt in Russia) (a).

Delle densit .

224. Dicesi che alcuni corpi siano pi  o meno densi, secondo che essi, a volume eguale, chiudano pi  o meno di particelle materiali egualmente pesanti. Ne risulta che la *densit  relativa* di due corpi non altro   che il rapporto del loro peso sotto uno stesso volume.

225. Il peso di un corpo varia da un luogo ad un' altro (n  25), n  la bilancia pu  far conoscere questa variazione, dappoich  crescono o decrescono i pesi di tutt'i corpi nello stesso rapporto. Se P rappresenta il peso di un corpo, V il suo volume, D la sua densit , g la gravit  del loco dove si considera il peso, si ha $P=V D g$.

Noi noteremo che le lettere P , V , D , g rappresentano numeri astratti. Cos  V   il numero di unit  cubiche che il volume del corpo contiene, D il rapporto numerico della sua densit  a quella dell'acqua presa per unit . La gravit  g   egualmente rapportata alla gravit  di un luogo determinato presa per unit . P designa il numero delle unit  di peso rapportate a quest'ultimo luogo. (Vedi le opere di Statica).

Le densit  de' solidi, e de' liquidi si riferiscono all'acqua portata a 4 , temperatura della sua massima densit . L'aria a 0  di temperatura ed a 0^m, 76 di pressione, serve di termine di paragone per i fluidi elastici permanenti o non permanenti.   stata preferita l'aria ad ogni altro gas come quella che   della medesima natura in tutti i climi ed in tutte le stagioni.

Densit  de' gas.

226. Il processo impiegato per la determinazione della densit  de' gas   semplicissimo, e consiste nel pesare un globo di otto a dieci litri v to, e successivamente pieno d'aria, e di differenti gas.

Questo globo deve esser chiuso con un robinetto esattissimo per conservare il v to.   indispensabile operare sopra un volume un poco considerabile, a causa della leggerezza de' gas. Se la capacit  del globo fosse di uno o due litri, gli errori avrebbero troppa influenza sui risultati.

Quando si opera sull'aria atmosferica, non vi ha altra precauzione

(a) Si veggano le note e supplementi del traduttore.

che di disseccarla e spogiarla dell'acido carbonico che contiene.

Se si opera su di un'altro gas, è in oltre necessario che sia chiuso in una campana, e se è poco solubile come l'ossigeno, l'idrogeno, l'azoto, si conserva per qualche tempo sull'acqua, quantunque sia più esatto di operare sul mercurio. Ma se il gas è solubile, come l'acido solforoso, l'acido idroclorico, il gas ammoniacale, è indispensabile raccogliarlo sul mercurio.

La f. 18 t. V indica la disposizione dell'apparecchio. M è il globo, B la campana che riceve il gas; CD il tubo pieno di cloruro di calcio, o di potassa (A). Il gas passa dall'apparecchio ove si produce nella campana mediante il tubo CD; essendo poi aperti i robinetti R, R' dalla campana passa nel globo. Si introduce nuovo gas fintantochè il livello rimanga lo stesso tanto nell'interno che nell'esterno della campana, affinchè il gas non sia sottomesso che alla pressione atmosferica.

Sia p il peso del globo vòto, P il peso del medesimo pieno d'aria, $P-p$ sarà il peso dell'aria contenuta. La stessa esperienza, fatta con altro gas, darà $P'-p$ pel peso di questo gas, e come le densità sono proporzionali ai pesi sotto il medesimo volume, si avrà, prendendo la densità dell'aria per unità, la proporzione

$$1 : d :: P-p : P'-p, \text{ e quindi } d = \frac{P'-p}{P-p}.$$

Come è raro che l'esperienza sull'aria, e quella sul gas che le vien paragonato, sien fatte alla stessa temperatura, noi indicheremo i mezzi da ridurre i risultati delle esperienze ad una medesima temperatura e pressione. Vien scelta ordinariamente per maggior semplicità la temperatura zero, e la pressione media $0^m,76$.

L'elevazione della temperatura tende a diminuire la densità del gas, e ad aumentaré la capacità del globo; la pressione esercita eziandio una influenza, poichè noi abbiám visto che pesi di un medesimo volume di gas sono, dentro certi limiti, proporzionali alle pressioni (legge di Mariotte n° 188)

Supponiamo che per un gas qualunque noi abbiám trovato un peso P alla temperatura di $15^{\circ}, 5$ e alla pressione $0^m,75$. Per rendere il calcolo più semplice, rappresentiamo $15^{\circ}, 5$ per t , $0^m,75$ per H , o per e l'elasticità che resta nel globo malgrado l'azione della macchina pneumatica. In virtù della legge del Mariotte, noi avremo.

$$P : X :: H - e : 0,76, \text{ e quindi } X = \frac{P \times 0,76}{H - e};$$

X è il peso corretto dalla pressione: per correggerlo dalla temperatura è mestieri ricordarsi che un volume di gas a zero essendo 1, diviene $1 + at$ alla temperatura t (a è eguale a $0,00375$). In conse-

(A) Per i gas acidi, il cloruro di calcio; per i gas alcalini o neutri, la potassa.

guenza il peso del gas alla temperatura t deve essere al peso a zero come $1 : 1 + at$. Laonde bisogna moltiplicare i pesi trovati per $1 + at$. Così $X(1 + at)$ è il peso a zero, ed a $0^m, 76$ di pressione.

Non altro resta che fare la correzione relativa al vaso, il quale coll'elevazione della temperatura si dilata, e cresce in capacità nel rapporto di 1 a $1 + kt$ (k essendo il coefficiente della dilatazione cubica del vetro per un grado). Il peso corretto dalla temperatura e

$$P \times 0,76 \times (1 + at)$$

dalla pressione sarà dunque $\frac{P \times 0,76 \times (1 + at)}{(H - e)(1 + kt)}$. Come spesso la diffe-

renza della temperatura è debole, e d'altra parte il vetro è poco dilatabile, così vien trascurata la correzione del globo.

227. I sig. Arago e Biot han determinato con grandissima precisione il peso di un litro d'aria sotto la latitudine 45° , alla pressione $0^m, 76$, ed alla temperatura del ghiaccio fondente. La capacità del globo, nelle loro esperienze, era di $5,5814$ litri, ed il peso dell'aria contenuta a zero e $0^m, 76$, era di $7g, 2532$; dal che si trova $1g, 2995$ pel peso di un litro d'aria. Se si vuol riferire la densità dell'aria a quella dell'acqua a 4° , bisognerà dividere il peso di un centimetro cubico d'aria, ovvero $0g, 0012798$ a 4° per un grammo che è il peso del medesimo volume d'acqua alla stessa temperatura; il che darà $\frac{1}{773,2}$ pel rapporto delle densità.

228. Se il gas esercitasse un'azione sul robinetto, bisognerebbe raccogliarlo in un vaso smerigliato; per il che si farebbe arrivare il gas in un fiasco pieno d'aria per un tempo bastante a mandar via quest'ultima. Si conoscerebbe il tempo nel quale questa condizione si trova soddisfatta, ricevendo il gas del fiasco scacciato dalla corrente. Sia P , il peso del fiasco pieno di gas, P' quello del fiasco pieno d'aria, $P - P'$ sarà il peso del gas diminuito del peso di un simile volume d'aria; d, d' , essendo le densità del gas e dell'aria, V la capacità del fiasco, Vd sarebbe il peso del gas, e Vd' quello dell'aria. Si avrà dunque l'equazione $P - P' = Vd - Vd'$ nella quale tutto è noto eccettuata d .

Degli aerostati.

Montgolfier fece la bella scoperta degli aerostati, e lanciò primo il pallone ad Annonay nel 1792. Siffatto pallone di carta aveva 36 piedi di diametro; era pieno di gas dilatato, carico di gas e di vapori provenienti dalla combustione della paglia o di qualunque altra sinigliante materia, la combustione operavasi in un fornello posto sotto del pallone. Pilastre Desrosiers e Darlandes osarono tosto lanciarsi per l'aria in un pallone similmente congegnato (b).

Il Signor Charles, ponendo cura a tutt'i pericoli indivisibili dallo montgolfiere, ebbe la felice idea di sostituire all'aria dilatata l'idroge-

(b) Si veggano le note ed i supplementi del traduttore.

ne la cui densità è 14 o 15 volte minore di quella dell'aria ordinaria; alla carta sostitui il *taffetas* inverniciato di caoutchouc.

Charles e Robert si levarono in un pallone di 26 piedi di diametro e percorsero uno spazio di nove leghe innanzi la discesa. E non prima il Sig. Charles condusse a questo grado di perfezione gli aerostati, che comunemente speravasi renderli utili alla pubblica prosperità; per la qual cosa se ne usarono in guerra, e nelle ricerche scientifiche.

I Sig. Biot e Gay-Lussac, dopo l'approvazione dell'Istituto, intrapresero un viaggio aerostatico; lo scopo principale ne fu l'indagar la legge del decrescimento delle forze magnetiche del globo a grandi distanze; a questo modo si elevarono sino a 4000. Il Sig. Gay-Lussac solo si levò ad un'altezza di 6636 metri.

Per comprendere la teoria degli aerostati, s'immagini dapprima un volume di gas idrogene chiuso in un involuppo senza peso; il quale volume sollecitato dalla gravità tende a discendere, mentre da un'altra parte egli è spinto in alto, da una forza eguale al peso del volume d'aria ch'egli scaccia diminuito del suo proprio peso (n.º 46). Deve dunque montare finchè il peso del volume d'aria scacciato sia uguale al suo. Come si eleva il pallone, il gas interiore si dilata per mettersi alla stessa pressione dell'aria esteriore. Il cangiamento di temperatura produce ancora il medesimo effetto sul gas interno che nell'esterno; dimodochè la forza ascensionale è sensibilmente costante.

Di leggieri si calcola il peso che può portare un pallone di determinato volume; per esempio un pallone di 10 metri di diametro, ha un volume di 523, 6 metri cubici; questo volume d'aria alla pressione 0^m, 76 ed a zero di temperatura pesa chilogrammi 680, 416; lo stesso volume d'idrogene pesa solo chi: 46, 816. La differenza è di 633, 360 peso che il pallone può elevare e sostenere. Nè mai vien caricato il pallone quanto vien indicato dal calcolo, perchè possa levarsi.

Vi ha nella parte superiore del pallone una vólva che quando si voglia discendere permette l'uscita al gas, se non che con precauzione bisogna operare questa espulsione, poichè se il pallone scendesse di una maniera non interrotta, necessariamente prenderebbe un movimento accelerato. Volendo montare, si getta della zavorra, la quale è della sabbia contenuta in sacchetti. Gli aerostati a gas idrogene sono i soli in usanza a di nostri. Pilastre Desrosiers volle accozzare gli aerostati a gas idrogene con le montgolfiere, ed essendo una combinazione di molto pericolosa ei perì vittima della sua ignoranza.

Molti tentativi sono stati fatti per dirigere il pallone, ma finora non si è pervenuto a verun risultato soddisfacente.

Densità de' liquidi.

230. 1° METODO. Le densità de' liquidi, come dicemmo, son riferite a quelle dell'acqua. Si ottiene la densità di un liquido pesando un matraccio chiuso ermeticamente successivamente pieno d'aria, d'acqua, e del liquido del quale si vuol conoscere la densità.

Esempio: Peso del matraccio pieno d'acqua 195g, 578
 ————— pieno d'aria 128g, 595

Peso dell'acqua 66g, 983

Peso dello stesso matraccio pieno d'alcool . . . 181g, 515

———— pieno d'aria 128g, 595

Peso dell'alcool 52g, 920

A cagione della grande differenza che passa tra la densità dell'aria e quella del liquido il più leggiero, ci passiamo dal toglier la prima dal matraccio. Sottraendo il peso del matraccio vòto da quello del pieno si ha il peso del liquido; e siccome le densità sono proporzionali ai pesi, sotto il medesimo volume, la densità dell'alcool è a quella dell'acqua, presa per unità, come 52, 920: 66, 983; il che dà 0, 790 per la densità dell'alcool.

Vuolsi aver cura di tenere immerso per qualche tempo il matraccio prima di pesarlo in una medesima massa d'acqua mantenuta ad una costante temperatura.

Della variazione della pressione la quale è senza sensibile influenza sulla densità de' liquidi e de' solidi, non occorre averne conto.

La precedente esperienza fu fatta a 15°, 5. Per avere i risultati a 4°, basta portare la correzione su i pesi de' liquidi, facendo attenzione che i pesi sono tanto più piccoli quanto più i liquidi sono dilatati; di modo che, se la temperatura è rappresentata da t , il coefficiente della dilatazione dell'alcool da α , e quello dell'acqua per e , i pesi pre-

cedenti a 4° diverranno 52g, 920 $\frac{1+\alpha t}{1+e t}$ e 66g, 983 $(1 \pm e (t-4))$.

Vengon paragonate ordinariamente le densità alla temperatura de' corpi circostanti.

131. II° METODO. Il secondo metodo è fondato sul principio d'Archimede. Questo grande geometra lo scoprì cercando, invitato da Gerone Re di Siracusa, se una corona d'oro conteneva una lega. La condizione di non alterare la corona era imposta al geometra.

Per mettere in pratica questo processo si sospende ad un filo finissimo un cubo metallico al piatto di una bilancia. Si stabilisce l'equilibrio tra i due piatti sospendendo il cubo all'aria; si tuffa in seguito successivamente il cubo sempre attaccato al piatto, in differenti liquidi; i pesi, che bisognerà mettere a ciascuna operazione, nel piatto al

quale è fissato il cubo, esprimeranno le perdite che questo prova ne' differenti liquidi, o i pesi de' volumi di questi liquidi che sposta; ma questi volumi sono eguali, poichè è sempre il medesimo cubo che si impiega; e d'altra parte si ha cura di mantenere invariabile la temperatura, situando sempre il vaso in una stessa massa d'acqua della quale la temperatura vien resa costante. (A)

Il primo processo è impiegato più sovente; tuttavia sono ambedue suscettivi di egual precisione; il primo semplicemente è più comodo in molte occasioni, ed in particolare pei liquidi che deteriorano al contatto dell'aria atmosferica.

232. Avvi un'istrumento negli antichi lavoratorj di fisica (*f. 5 t. V*) il quale dà immediatamente le densità. Quest'apparecchio si compone di un sifone le braccia del quale AB e CD sono eguali, e comunicano colla loro estremità superiore ad un corpo di tromba simile a quello di una macchina pneumatica. Un robinetto R serve a stabilire o interrompere la comunicazione tra il sifone ed il corpo di tromba. Mettendo in moto lo stantuffo, l'aria del sifone esce in parte, ed ogni liquido si alza ad una certa altezza. Se si rappresenti per D la densità di uno de' liquidi, per H l'altezza alla quale questo liquido si eleva, e per H' e D' le quantità corrispondenti per l'altro liquido, si

$$\text{avrà } H : H' :: D' : D, \text{ e quindi } \frac{D'}{D} = \frac{H}{H'}.$$

Questo processo poco suscettivo di precisione non è più oggi impiegato.

Il Sig. Babinet ottiene le densità con un processo molto semplice. L'apparecchio (*f. 6 t. V*) consiste in un sifone del quale la parte intermedia ABC è piena d'aria. Si versano i liquidi di maniera che i punti *m* CB *n* sieno sopra una medesima orizzontale. Le densità sono in ragione inversa delle altezze al di sopra della linea *mn*; la parte ricurva può essere separata in *o*.

Densità de' corpi solidi.

233. Il secondo metodo impiegato per conoscere le densità de' liquidi può ben applicarsi ai solidi; basterà pesare i differenti corpi

(A) Niente è più semplice che di aver conto della perdita cagionata dall'aria nel pesare il corpo. In fatti siano V il volume e *d* la densità del corpo; P il peso nell'aria; *d'* la densità del liquido, *d''* quella dell'aria riferita a quella dell'acqua presa per unità; P' il peso del corpo nell'acqua; P'' il peso nel liquido; si avrà $P = Vd - Va''$; $P' = Vd - V$; $P'' = Vd - Va'$; e quindi

$$d' = \frac{P - P'' - d''(P - P')}{P - P'}.$$

nell'aria e nell'acqua, ed il peso nell'aria diviso per la perdita nell'acqua darà la densità riferita a quest'ultimo liquido.

Questo metodo riunisce al vantaggio di una grande precisione quello di poter essere impiegato in grande; si vuole, per esempio, avere la densità di una massa di ferro fuso, di bronzo, di una lamina di ferro: si peserà il corpo nell'aria, si fisserà in seguito al piatto di una forte bilancia, e se ne valuterà il peso nell'acqua. Il processo seguente è quasi esclusivamente adottato ne' laboratorj.

Si pesa da prima una boccia arrotata piena d'acqua distillata, e della capacità di uno a due decilitri. Sia P questo peso, sia egualmente p il peso del corpo nell'aria; se si introduce questo corpo nella boccia piena d'acqua, escluderà un volume di liquido eguale al suo; e se pesando una terza volta, si rappresenti con P' il peso della boccia contenente il corpo solido, $P + p - P'$ sarà evidentemente il peso

del volume d'acqua scacciata, di modo che $\frac{p}{P + p - P'}$, sarà la densità del corpo solido.

Esempio. Peso della boccia piena d'acqua 183g, 543
Peso di un frammento d'argento nell'aria 22g, 474

TOTALE 206g, 017

Peso della boccia contenente l'acqua ed il corpo . . . 203g, 872

Peso dell'acqua scacciata 2g, 145
22, 474

Si ha dunque $\frac{22,474}{2,145}$ o 10, 477 per la densità dell'argento

Questo metodo convicne ai corpi più leggieri o più pesanti dell'acqua.

È sopra ogni altro vantaggioso per la determinazione delle densità de' corpi in polvere, come la sabbia, il carbone, ec. Bisognerà allora aver cura di situare la boccia contenente l'acqua e la polvere, sotto la macchina pneumatica, affin di facilitare col vòto lo sprigionamento dell'aria interposta. Si fa talvolta bollire il liquido.

234. Vi son de' corpi talmente porosi da assorbire una certa quantità d'acqua. In tal caso si può dimandare la densità *reale* o la densità *apparente*. Per avere la prima, si opera come si è indicato, lasciando cioè il corpo in contatto col liquido fintantochè l'assorbimento sia compiuto.

Sia P il peso del corpo all'aria, P' il peso del volume d'acqua scacciato, — sarà la densità reale. Se si pesa il corpo dopo l'assorbimento,

l'accrescimento p di peso sarà il peso dell'acqua che sarebbe stata anche scacciata, se l'assorbimento non avesse avuto luogo, come per esempio, se il corpo fosse stato coperto di uno strato di vernice. La den-

$$\frac{P}{P' + p}$$
 sità apparente o esteriore del corpo sarà dunque —.

235. Se la sostanza avesse azione su l'acqua, se per esempio fosse un sale solubile, se ne prenderebbe la densità per rapporto ad un liquido su cui non avesse punto di azione, e la densità del quale fosse nota rapportata a quella dell'acqua. Per esempio, la densità di un sale o di un corpo solubile nell'acqua dovrebbe esser presa rapporto al mercurio, e poichè questo metallo pesa 13,586 volte più dell'acqua, sarebbe forza moltiplicare il risultato per 13,586. Ancora, è possibile che un corpo abbia in uno alquanto di azione su l'acqua e sul mercurio, come il potassio; allora, si prenderebbe la densità per rapporto al liquido sul quale questo metallo non ha punto di azione, come per rapporto all'oglio di naphte, moltiplicandosi il risultato per 0,8, densità dell'oglio medesimo.

Degli areometri.

236. Le nozioni precedenti racchiudono quanto importa conoscere per determinare i pesi specifici, noi nondimeno non dobbiamo omettere di far menzione degli areometri, o pesa-liquori, istrumenti immaginati per rendere più pronta l'operazione allora che si tratti de' liquidi. Il commercio dell'acquavite degli acidi etc. esige che del continuo vengano adoperati.

237. Gli areometri sono a volume costante od a variabile. La loro costruzione è fondata in quanto segue; se un corpo immersi in un liquido e va in parte a galla, il peso del volume del liquido scacciato è uguale a quello dell'intero corpo (n° 47). L'areometro di Fahrenheit è a volume costante formato in latta od in sottilissimo rame e vien rappresentato dalla *f. 19 t. V.* C è un piatto destinato a ricever pesi, DC è un'asta del diametro di una mezza linea e della lunghezza di quattro a sei pollici; D E è un tubo più largo, potendo avere da uno a due pollici di diametro. L'istrumento termina con una palla M, piena di piombo, perchè sia in uno stabile equilibrio. In ogni esperimento l'istrumento deve tuffarsi sino al segno *b*. Si ha cura di farlo tanto poco pesante, affinchè immerso col suo peso ne' più leggeri liquidi non si nasconda mai sino a questo punto. Si collochino nel piatto superiore de' pesi addizionali, i quali riuniti al peso dell'istrumento rappresentano quello del volume del liquido scacciato, e come questo volume è costante in ogni esperienza, vi ha quanto è mestieri a conoscere le densità. Suppongasi pesar l'istrumento P, ed esser uopo aggiungere *p* perchè s'immerga sino a *b* nell'acqua; immergendolo in altro liquido, e bisognando il peso *p'* perchè si stia al medesimo punto *b*, è visibile che le densità de' due liquidi saranno nel rapporto di $P + p$ a $P + p'$.

Applicazione. Un areometro il cui peso sia eguale a 35g, 252 esi-

ge ancora 15g, 251 di peso addizionale perchè s'immerga tutto nell'acqua pura sino al punto segnato su l'asta.

Lo stesso areometro col suo peso 35g, 252 portato in un'altro liquido esige 25g, 174 per immergersi sino al medesimo punto.

La densità del secondo liquido presa per rapporto all'acqua sarà

$\frac{60,426}{50,503} = 1,196$. Poco vien adoperato quest'areometro al pre-

sente. Si ridurrebbero con le formole innanzi esposte, ad una stessa temperatura tutt' i risultati, per esempio a 4.

238. Nicholson ha esteso l'uso dell'areometro di Fahrenheit, adattando un piatto alla parte inferiore. Questo areometro diventa allora una picciola bilancia idrostatica, con la quale si può trovare la densità di un corpo solido. Basta pesare successivamente siffatto corpo nell'aria situandolo nel bacino superiore, e nell'acqua situandolo nel bacino inferiore. S'egli è più leggiero dell'acqua si attacchi al piatto inferiore. Ad ogni modo, il peso del corpo preso nell'aria diviso per la perdita nell'acqua, darà la densità. La f. 28 t. V rappresenta l'apparecchio. Può servire questo processo ne' viaggi mineralogici; troppo poco esatto sarebbe se dovesse servire ad indagini severe.

239. L'areometro a volume variabile ed a peso costante dà immediatamente le densità senz'aiuto di peso. La sua forma è quasi simile a quella dell'areometro di Fahrenheit; l'asta solamente è men fina, avendo 2 a 3 linee di diametro; tutto l'istrumento è di vetro (f. 20 t. V). Suppongasi che, immerso nell'acqua pura s'arresti in D, e che immerso in un liquido di doppia densità s'arresti in B; il volume dell'asta BD sarà evidentemente la metà del volume totale D B C; dividasì quest'asta sensibilmente cilindrica in dieci parti eguali, ciascuna di esse è la decima parte del volume B C; ma essendo costante il peso di tutto l'areometro, il volume slocato dall'istrumento in ciascun liquido avrà il medesimo peso; le densità de' diversi liquidi saran dunque in ragione inversa de' volumi immersi. Il volume nell'acqua essendo 20, le densità rispondenti alle divisioni 10,

20 20 20 20 20

11, 12, 13, 14, ec. saranno —, —, —, —, —, ec. L'areo-

10 11 12 13 14

metro così graduato immediatamente darà la densità di un liquido più pesante dell'acqua.

Se si voglia conoscere col medesimo mezzo la densità di un liquido più leggiero, si opererà in modo che l'asta resti quasi tutta fuori dell'acqua distillata quando l'istrumento vi si è immerso, come vien rappresentato dalla f. 21 t. V. A è il punto corrispondente all'acqua distillata, B quello in cui si arresta l'areometro immerso in un liquido di una densità per metà più picciola di quella dell'acqua.

L'asta AB, il volume della quale è eguale a quello della parte AC, è divisa in parti eguali. A costo di ciascuna divisione è scritta la

densità corrispondente cominciando da A; le quali densità saranno

successivamente $\frac{10}{10}, \frac{10}{11}, \frac{10}{12}, \dots, \frac{10}{20}$.

240. In questa graduazione i gradi segnati su la scala sono eguali, e corrispondono a delle densità crescenti o decrescenti di una *inequale quantità*. Noi abbiám preso, per maggior semplicità, le densità in un rapporto doppio; la graduazione si farebbe sempre della stessa maniera quando esse fossero in un rapporto qualunque. Questa maniera di graduare suppone il diametro eguale in tutta la lunghezza dell'asta, il che in generale non è facile ottenere; ma noi ci faremo ad esporre un'altra indipendente dall'eguaglianza del diametro.

Supponiamo che l'areometro si arresti nell'acqua distillata in A (f. 22 t. V) e che si vogliano scrivere le densità sull'asta, la qual cosa tornerebbe semplicissima se si avessero de' liquidi di diverse densità; si immergerebbe in essi successivamente l'istrumento, avvertendo di notar sull'asta le corrispondenti densità. Questo metodo farebbe aver bisogno di gran numero di liquidi, e però non viene adoprato, essendo bastante a ben graduare un'areometro aver dell'acqua pura, de' pesi, ed una bilancia. Ed in fatti supponiamo che un simile istrumento si immerga in un liquido di una densità più grande di quella dell'acqua e che si arresti in B; ben si potrà alleggerirlo in modo da farlo arrestare similmente in B nell'acqua distillata, il che si può ottenere togliendo una porzione del piombo o del mercurio che serve di zavorra. Sia p il peso primitivo dell'istrumento quando si ferma in B nel liquido la cui densità è d ; sia x il peso del quale deve essere diminuito perchè nell'acqua si fermi del pari in B. Nei due liquidi, il volume spostato è lo stesso, le densità son dunque in ragione de' pesi dell'istrumento ne' due casi; e però si avrà

$$p - x : p :: 1 : d, \text{ e quindi } x = p - \frac{p}{d}.$$

Se noi diamo a d un valore, si avrà con x il peso che bisognerà togliere dall'areometro, perchè quest'istrumento, essendo immerso nell'acqua pura, si arresti al medesimo punto al quale si arresterebbe, se con tutto il suo peso fosse immerso nel liquido colla densità d . Dando a d diversi valori da 2 sino a 1, si avranno tutti i punti dell'asta corrispondenti a queste densità, e l'istrumento sarà graduato. Bisognerà poi rendere all'areometro il suo peso primitivo, e chiuderlo alla lucerna. In tal modo sarà atto ad indicare tutte le densità da 1 sino a 2.

L'areometro così graduato servirebbe a dare le densità de' liquidi più pesanti dell'acqua; e se ne vollessimo graduare uno destinato a dare le densità de' liquidi più leggieri farebbe mestieri seguire il medesimo andamento. Sia CD (f. 23 t. V) un'areometro che nell'ac-

qua pura si arresti in D, e che immerso in un liquido di una densità minore si fermi in C. Se il peso dell'istrumento viene aumentato, potrà ben sprofondarsi sino a C nell'acqua distillata. Sia x il peso addizionale, p il peso primitivo dell'istrumento, si avrà la proporzione

$$d : 1 :: p : p+x, \text{ e quindi } d = \frac{p}{p+x}.$$

Dando successivamente a d i valori 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5, si avranno i pesi che bisognerà aggiungere al peso p dell'istrumento; si immergerà in seguito nell'acqua pura, e si noteranno sull'asta le densità 0,9; 0,8 0,5. Il resto si eseguirà come di sopra si è indicato.

241. Gli areometri i più comuni nel commercio sono quelli di Beaumè; i quali indicano che un liquido è più o meno pesante di un'altro, ma non ne fanno conoscere la densità: i numeri segnati sulla scala non hanno veruno rapporto tra loro. Pei liquidi più pesanti dell'acqua si immerge l'istrumento successivamente nell'acqua pura ed in un mescolgio di 85 parti d'acqua e 15 di sale. Si divide l'intervallo in 15 parti eguali, e notando col 0 il punto corrispondente all'acqua si prolunghi la scala al di sotto. Il 54° grado corrisponde all'acido nitrico, il 66° all'acido solforico. Pei liquidi più leggieri si opera nell'istesso modo, se non che la dissoluzione salina contiene 10 parti di sale, ed il zero è segnato nel punto in cui si arresta l'istrumento in questa dissoluzione. L'intervallo si divide in 10 parti eguali, e si prolunga la divisione al di sopra del 10° grado che corrisponde all'acqua. L'alcool del commercio indica 35°, l'alcool puro 44 a 45, l'etere solforico 70, ec.

Ecco il modo da graduare quest'areometro perchè indichi immediatamente le densità.

Supponiamo che l'istrumento (f , 31 t. V) si immerga sino ad A nell'acqua pura, e fino a B in un altro liquido di minor densità; si supponga di più che l'intervallo AB comprenda m delle divisioni che si vogliono determinare, ciascuna delle quali deve, per esempio, corrispondere a $\frac{1}{100}$ di variazione di densità, sia V il volume CA, e V' il volume CB; questi due volumi avendo il medesimo peso (quello dell'istrumento), sono in ragione inversa delle densità de' liquidi. Se dunque 1 è la densità dell'acqua, si avrà:

$$V : V' :: 1 - \frac{m}{100} : 1, \text{ e quindi } V' = \frac{100V}{100-m};$$

$$\text{e } V' - V = AB = \frac{mV}{100-m}.$$

Se facciamo successivamente $m = 1, = 2, = 3$, ec. avremo

$\frac{1}{99} \quad \frac{2}{98} \quad \frac{3}{97}$

—, —, — per le porzioni dell'asta che corrispondono alle densità 99 98 97

tà $1 - \frac{1}{1000}$, $1 - \frac{2}{1000}$, ec.; non altro dunque resta che a segnare su l'asta, incominciando da A, le divisioni corrispondenti ai volumi

$$V \quad 2V \quad 3V \\ -, -, - \dots$$

99 98 97

Per far ciò si costruisca un triangolo equilatero (*fig. 32 f. V*) sopra una linea *mn* antecedentemente divisa, incominciando da A, in parti proporzionali a $\frac{1}{1000}$, $\frac{2}{1000}$, $\frac{3}{1000}$; e prendendo $pK=AB$. *KF* parallela ad *mn*, ed eguale a *pK* e *AB*, sarà divisa in parti proporzionali a quelle di *mn*; sicchè ponendo l'asta dell'areometro su la linea *KF*, in modo che il punto A sia in K, essa sarà divisa convenientemente. Si praticherebbe egualmente per un'altro areometro.

L'areometro in tal modo costruito darà le densità de' liquidi più leggieri dell'acqua; ma potrà rendersi opportuno a dare le densità de' liquidi più pesanti, se si prolunghi la divisione dell'asta al di sotto di A, di modo che le parti sieno, incominciando dal medesimo

$$V \quad 2V \quad 3V \\ \text{punto A } -, -, -, \text{ ec.}$$

101 102 103

Ed in vero, sia V'' il volume dell'areometro immerso in un liquido di una densità $1 + \frac{m}{100}$, si avrà $V : V'' :: 1 + \frac{m}{100} : 1$, e quindi

$$V - V'' = \frac{Vm}{100 + m} : \text{facendo successivamente } m=1, m=2, m=3 \dots$$

$$\text{si avrà la progressione } \frac{V}{101} \quad \frac{2V}{102} \quad \frac{3V}{103} \quad -, -, -, \dots$$

In questa graduazione le parti disuguali dell'asta corrisponderanno ad eguali differenze di densità.

Le densità determinate coi metodi indicati di sopra essendo più esatte di quelle ottenute col mezzo degli areometri, questi ultimi vengono solo impiegati per l'uso del commercio.

Del massimo grado di densità dell'acqua.

242. In generale un corpo ha una densità tanto più grande quanto meno elevata è la sua temperatura. L'acqua non obbedisce a questa legge generale e presenta un massimo di densità a $+4$ gradi centigradi. A contare da questo punto la densità tanto è minore quanto la temperatura è bassa. Per diverse maniere può dimostrarsi l'esistenza di questo massimo.

Hope, fisico inglese, ha disposti due termometri in un cilindro, l'uno nella parte inferiore, presso all'apertura l'altro. Riempito il ci-

lindro d'acqua a zero, lo ha in seguito collocato in una camera la cui temperatura era a 15 gradi; però ha riconosciuto come al di sotto di 3°, 33 in una esperienza e di 3°, 88 in un'altra, il primo termometro segnava una temperatura più elevata che la seconda, e come addivenisse il contrario al di sopra di queste temperature, dal che ne inferiva essere la temperatura del massimo tra 3°, 33 e 3°, 88. Questa grande discordanza c'indica un difetto o nei termometri o nelle osservazioni.

Tralès, dotto Svizzero, situa lo stesso punto a 4°, 35. I Signori Gilpins e Blagden, pesando l'acqua a diverse temperature, trovano il massimo della sua densità a 3°, 88.

Lefèvre-Gineau, avendo cercato le perdite di un cubo metallico, immerso successivamente nell'acqua a diverse temperature, trova che la più gran perdita è alla temperatura di 4°, 44.

Il Sig. Hallestrom ha cercato le perdite subite nell'acqua a diverse temperature per via di una palla vuota di vetro, e piena in modo di sabbia che non pesasse molto più dell'acqua; egli ha rigettato il metodo di Tralès o di Hope, perocchè gli davano troppo discordanti valori.

Gli estremi valori ottenuti dal Sig. Hallestrom sono 4°, 85 e 3°, 4 ma la discussione di tutte l'esperienze fatte da lui e dagli altri diversi fisici lo ha menato a 4°, 1 + 0, 27, cioè a 4°, 37, o a 3°, 83.

Noi ci siamo occupati di questo argomento dal principio del 1832; abbiamo principalmente posto in opera due metodi: il primo consiste nell'osservare le contrazioni provate da un termometro ad acqua, corrispondente ad una temperatura del termometro a mercurio da + 8° sino a 0° nello stato statico, ed a tracciare una curva con le osservate contrazioni; per la costruzione della curva si divide una linea orizzontale A B (*f. 1 t. XVII*) in parti eguali che rappresentino i gradi del termometro a mercurio, appresso si elevi ad ogni temperatura segnata per l'esperienza una perpendicolare proporzionale alla contrazione del liquido.

La colonna d'acqua scende prima, ma tosto rimonta, questo punto ch'è il *massimo* apparente, arriva quando l'acqua si contrae meno del vetro. Per determinare il massimo assoluto, si prende un'altezza A D, esprimente la dilatazione del vetro per un determinato numero di gradi, per esempio per 15.

La linea DE può allora esser considerata come rappresentante la dilatazione del vetro nell'intervallo di 15°, ed essa è dritta poichè in tale intervallo la dilatazione del vetro è uniforme.

Se ora si mena alla curva una tangente parallela alla linea DE, il punto del contatto corrisponderà alla massima temperatura, e le distanze di questa tangente alla curva a dritta ed a sinistra di questo punto, saranno le dilatazioni assolute dell'acqua. Ho impiegato in queste esperienze quattro tubi differenti. 1ª scie, 3°, 99; 2ª 4°, 02; 3ª, 4°, 01; 4ª, 3°, 96; medio 4°, 0. Nel secondo metodo io mi son

servito di un vaso cilindrico di terra contenente 6 chilogrammi. Quattro termometri situati orizzontalmente attraversavano la parete, ed il mezzo di ciascun serbatoio era nell'asse del cilindro *f. 2 t. XVII.*

Il vaso veniva riempito d'acqua a zero o a 10° , ed in seguito esposto all'azione di un'atmosfera calda o fredda, si osservarono i termometri da minuto in minuto, e si tracciava la curva delle temperature di ciascun termometro nel seguente modo. Si divideva una linea orizzontale AB in parti eguali, ciascuna delle quali rappresenta un minuto; si elevino su questa linea delle perpendicolari proporzionali alle temperature, e si descriva una curva che passi per le estremità delle perpendicolari corrispondenti a ciascun termometro.

Credeva che queste curve si intersecassero in un sol punto la cui distanza alla linea AB fosse la temperatura del massimo; ma non è stato così: esse si son tagliate in un gran numero di punti ed han più volte cangiato di direzione, se non che queste intersezioni e questi cangiamenti han luogo presso il massimo. Si ottiene la temperatura del massimo prendendo la media di tutte le temperature corrispondenti a queste intersezioni ed a questi cangiamenti.

È mestieri eseguire molte correzioni: la prima riguarda la posizione orizzontale de' termometri, la quale fa indicare al termometro una temperatura di troppo elevata; la seconda è relativa all'azione dell'aria su la parte dell'asta non in contatto coll'acqua. Per via di esperienze conviene determinare il valore di ciascuna correzione.

Due esperienze fatte con l'acqua a zero, e nell'aria a $\pm 17^{\circ}$, 52 han dato 3° , 966.

Due esperienze fatte con l'acqua ad 8° , e nell'aria a -3° , 15 han dato 4° , 032.

La differenza è ben nel senso che conviene; nel primo caso il termometro è un poco più freddo dell'acqua, più caldo nel secondo.

Il medio sarebbe 3° , 999 ma noi non dobbiam prender il medio, mentre pare più esatto il divider la differenza 0, 666 proporzionalmente alle velocità di ciascuna esperienza, le quali erano nel rapporto di 3 a 5, vale a dire che nella prima esperienza la velocità era di 0° , 03 per minuto e nella seconda di 0° , 05. In tal modo si ottiene 4° , 007 per la temperatura del massimo. Il medio tra questo numero ed il numero 4° avuto per mezzo de'tubi è 4° , 003. La nostra unità di peso o il grammo è il peso di un centimetro cubico di acqua presa alla temperatura del massimo di densità; ma come non siam sicuri che il centimetro cubico di acqua sia stato pesato alla vera temperatura del massimo, è possibile che il grammo sia falso.

In virtù della conoscenza del massimo di densità ben rendiamo ragione perchè il fondo di tutti i grandi laghi, alimentati dalle acque prodotte dalla fusione delle nevi, si mantiene costantemente alla temperatura di 4 gradi. Ad una tal temperatura l'acqua, essendo pesantissima, cade nel fondo. Ben si comprende ancora la formazione di quelle cavità cilindriche che si incontrano nel mezzo delle ghiacciaie,

e che sono state riconosciute dal conte di Rumford (*Vedi la temperatura de' mari*).

243. L'acqua che tiene in dissoluzione una materia straniera, per esempio un sale, o altra sostanza, ha eziandio un massimo di densità; ma come allora l'acqua gela al di sotto di 0° , il massimo è al di sotto di 4° .

Se le nostre esperienze sono esatte, la temperatura di questo massimo si abbassa molto più della temperatura della congelazione.

Per 0,0123 di cloruro di sodio, congelazione a $-0^{\circ}, 71$; densità massima a $+1^{\circ}, 19$;

Per 0, 0246 *idem* congelazione a -1° , 41; densità massima a -1° , 69.

Per 0,0370 *idem* congelazione a -2° , 12; densità massima a -4° 75.

Per 0,0741 *idem* congelazione a -4° , 26 densità massima circa -16° . Così per 7 centesimi il massimo è a più di 13 gradi al di sotto della congelazione.

(Vedi alla fine dell'opera una tavola compiuta della dilatazione dell'acqua)

244. La determinazione della capacità de'vasi naturalmente trova qui luogo. La irregolarità delle forme non permettendo far uso de' teoremi di geometria, è mestieri ricorrere ai pesi. In due modi può ottenersi la capacità di un vaso; pesandolo cioè vòto d'aria e pieno d'acqua, o successivamente pieno d'aria e pieno d'acqua. Nel primo caso il numero de'grammi corretti della temperatura, esprimerà il numero de'centimetri cubici che rappresenta la capacità del vaso. Nel secondo bisogna aggiungergli il peso dell'aria del pallone, poichè un tal peso è stato tolto da quello del globo pieno d'acqua. Noi daremo i particolari dell'esperienza riguardando quest'ultimo caso.

Esempio: L'esperienza fu fatta a 20° , e

Peso del globo pieno d'aria	542g, 417
pieno d'acqua	6109g, 559

Differenza 5567g, 142

Peso dell'aria contenuta	6g, 650
------------------------------------	---------

Acqua contenuta nel globo 5573g, 792

Se nel calcolo si volesse tener conto del peso dell'aria contenuta nel globo, bisognerebbe conoscere la densità di questo fluido riferita a quella dell'acqua. Sia p il peso del globo pieno d'aria, P quello del globo pieno d'acqua, $P-p$ sarà il peso della quantità d'acqua che contiene alla temperatura dell'esperimento meno quello del volume d'aria che l'acqua ha spostato. Se dunque P è il vero peso dell'acqua contenuta nel globo, α il rapporto della densità dell'aria a

quella dell'acqua, si avrà $P - Pa = P' - p$, quindi $P = \frac{P' - p}{1 - a}$.

Questo sarebbe il peso dell'acqua se il pallone fosse stato da prima pesato vòto. Una tal considerazione è fatta solo per mettere il lettore nello stato di apprezzare l'influenza dell'aria; ma come il peso di questo fluido non è che $\frac{1}{815}$ di quello dell'acqua, quasi sempre vien trascurata simil correzione.

Se l'esperienza fosse stata fatta alla temperatura del massimo della densità dell'acqua, il numero di grammi trovati rappresenterebbero un pari numero di centimetri cubici, e la capacità del globo sarebbe 5lit, 574; ma essendo l'acqua dilatata per l'elevazione di temperatura, questo numero di grammi rappresenta una capacità più grande di 5lit, 574; ed in conseguenza di ciò che abbiain detto su le dilatazioni, è chiaro che il numero di grammi 5573, 792 deve esser moltiplicato per $1+E$ ($20,1 - 4$), E essendo il coefficiente della dilatazione assoluta dell'acqua rapportata alla temperatura 4° , e che è eguale a 0, 00029 circa. Si avrebbe così 5lit, 617 per la capacità del globo a 20° , 1.

Se ora si vuol conoscere la medesima capacità a 4° , bisogna tener conto della dilatazione del vaso. Noi sappiamo che esso si è dilatato nel rapporto di

$$1 + V. 4^{\circ} \text{ a } 1 + V. 20, 1$$

V essendo il coefficiente della dilatazione del vetro eguale a $\frac{1}{258700}$, bisognerà, per togliere l'effetto della dilatazione, moltiplicarlo per questo rapporto; il che dà 4lit, 598.

Perdita del peso di un corpo nell'aria.

245. Sia P il peso nel vòto in grammi, d la densità, $\frac{P}{d}$ sarà il volume, o il numero di centimetri cubici; sia m il peso di un centimetro cubico d'aria, $\frac{Pm}{d}$ sarà il peso dell'aria slocata o la perdita; $\frac{m}{d}$ evidentemente è la densità dell'aria rapportata al corpo.

Se si è trovato P' pel peso del corpo, si avrà $P - \frac{P}{d} m = P'$ da cui si ricaverà il peso P nel vòto.

m preso a zero e a 0° , 76 è eguale a 0g, 001299; sotto una pressione H ed alla temperatura t , diverrebbe $\frac{0g, 001299 H}{(1 + at) 0, 76}$.

Se si volesse tener conto della presenza del vapore, la formula diventerebbe $\frac{0g, 001299 (H-f)}{(1 \pm at) 0, 76} + \frac{0g, 001299 f}{(1 + at) 0, 76} \times \frac{e}{H}$, o

$$0,001299 \left(H - \frac{1}{2}f \right)$$

— è l'elasticità del vapore, la quale
 $(1 + at) 0,76$
 sarebbe data dal grado dell'igrometro e dalle tavole igrometriche
 (n° 212).

Bisogna eziandio correggere i pesi;

Sia un chilogrammo di platino nel vòto. Nell'aria a zero ed a
 $1000g$
 $0^m, 76$ peserà $1000g - \frac{1000g}{21 \times 770}$, la densità del platino essen-
 do 21.

Un chilog. di rame rosso peserebbe $1000g - \frac{1000g}{8,88 \times 770}$, ed in
 conseguenza si trova che un chilogrammo di rame rosso pesa nell'a-
 ria $0g, 085$ di meno di un chilogrammo di platino.

Noi supporremo l'aria secca a 0^o ed a $0^m, 76$. Si ridurrebbero, co-
 me sopra, i risultati ad una temperatura e ad un qualunque stato
 atmosferico.

246. Nell'articolo su le densità de' gas, tutti i nostri ragionamenti
 furon fatti supponendo il gas privo d'umidità; si possono medesima-
 mente conoscere le densità de' gas secchi, quantunque si avessero alle
 mani solamente i gas umidi.

Per non complicare il problema, si suppongano ordinariamente i
 gas completamente saturati di vapori d'acqua; basta ricordarsi allora
 che la densità di questo vapore è, a temperature ed a pressioni egua-
 li, $\frac{1}{2}$ di quella dell'aria, aggiungasi che uno spazio determinato vòto
 o pieno di un gas qualunque ammette ad una data temperatura la stes-
 sa quantità di vapore (A)

(A) Sia P il peso di un volume d'aria umida alla pressione H, ed alla tem-
 peratura t; si tratta di avere il peso del medesimo volume di gas secco alla
 pressione $0^m, 76$ ed alla temperatura del ghiaccio fondente.

Sia P' questo peso incognito, sia f la forza elastica del vapore che contiene
 il gas umido; il peso di questo volume sarebbe

$$\frac{P' \times (H-f)}{0,76} \text{ alla pressione } H-f. \text{ Alla temperatura } t \text{ diverrebbe } \frac{(P' \times (H-f))}{(1+at) 0,76}$$

Bisogna aggiungere a questo peso quello del vapore che contiene il gas umi-
 do, il quale vapore riempie tutto il volume d'aria, ha una forza elastica f, una
 densità $\frac{1}{2}$, ed una temperatura t; il peso sarà dunque $\frac{5 \times P' \times f}{8 (1+at) 0,76}$.

Ed aggiungendo tal quantità al peso dell'aria secca, si avrà $\frac{P' (H - \frac{1}{2}f)}{(1+at) 0,76}$.

Eguagliando P a questa espressione, si avrà una equazione dalla quale si rica-
 verà P'.

Ne risulta da ciò che si può sempre dalla conoscenza del peso di un dato volume di gas umido dedurre il peso di un'egual volume dello stesso gas secco alla pressione 0^m , 76, ed alla temperatura del ghiaccio fondente. È dunque quasi indifferente, per determinare le densità di due gas, il pesarli secchi o umidi; nondimeno si ha l'abitudine di disseccarli anticipatamente affin di evitare i calcoli.

Tavola delle densità dei corpi solidi e dei liquidi.

Le lettere Kl. significano Klapproth; Br., Brisson; B. e A., Biot e Arago; W., Wollaston; Be., Bergmann; St., Stromeyer; Ha., Hatchet; Hi., Hielm. Mu., Muschenbroeck; G. e T., Gay-Lussac e Thénard; Du., Dulong; Lo., Lowitz; C. e B., Cauchoix e Biot; G., Gay-Lussac; T., Thenard; A. e G., Arago e Gay-Lussac; D., Despretz.

Platino	{ 20,722 Kl. 20,980 Br.	Vetro comune	
Oro	19,258 Br.	verde	2,5 — 2,6
Mercurio	13,586 B. e A.	Vetro bianco	2,4 — 2,5
Piombo	11,352 W.	Cristallo inglese	3,29 Br.
Palladio	{ 11,3 battuto W. 11,8 lam.	Cristallo francese	3,20 C. e B.
Manganese	6,85 Be.	Vetro com. franc.	2,487 C. e B.
Nikel	{ 8,446 8,324 rincotto	Ossido di ferro o ferro ossidulato	5,00
Cobalto	8,602	Solfuro di ferro (persolfuro)	4,0 — 4,8
Argento	{ 10,474 Br. 10,784 Kl.	Salpietra	1,900 Mu.
Bismuto	{ 9,822 Br. 9,070	Sal comune	1,918 id.
Cadmio	8,604 St.	Sal ammoniaco	1,420 id.
Rame	8,895 Ha.	Solfato di calce (gesso)	2,31
Ottone	8,395 Br.	Carbonato di calce	2,70
Arsenico	8,308 Be.	Ambra gialla	1,065 Mu.
Ferro	7,788 Br.	Solfo	1,80 id.
Molibdeno	7,400 Hi.	Cera	0,95 — 0,96
Acciaio	7,767 Mu.	Alcool (rettificato)	0,792 Lo.
Stagno	7,291 Br.	Etere solforico	0,715
Zinco	7,166	Olio d'oliva	0,913 Mu.
Potassio	0,865 G. e T.	Olio di terebinto	0,872 Du.
Sodio	0,772 G. e T.	Acido nitrico	{ 1,510 G. 1,513 T.
Marmo	da 2,25 a 2,32	Acido nitroso	1,461 Du.
Spato pesante	4,3 — 4,4	Acido solforico	1,842
Terra gres	1,8 — 2,0	Querce (fresca)	0,93 Mu.
Cristallo di rocca	2,653 Br.	(vecchia)	1,67 id.
Pietra da fucile	2,58 — 2,67	Faggio	0,85 id.
Spato fusibile	2,44 — 2,60	Abete	0,55 id.
Pietra pomice	0,914 Br.	Sughero	0,24 id.
Gres	2,11 — 2,56	Acqua (pura)	1,000
		Ghiaccio	0,916 Mu.

Tavola delle densità dei principali gas.

Le lettere B. e A. significano Biot e Arago; B'. e D., Berzelius e Dulong; B', Berard; C., Colin; C. e R., Colin e Robiquet; C', Cruikshanks; G., Gay-Lussac; G. e T., Gay-Lussac e Thénard; H-D., Humphry Davy; J-D., John Davy; T., Thénard; T', Trommsdorff; Dum., Dumas.

N O M I DEI FLUIDI ELASTICI	DENSITA' deter- minata dall' espe- rienza	N O M I degli osserva- tori	DENSITA' cal- colate	PESO d'1 litro di gas trovato con l'espe- rienza a 0° e a 0m,76 di pressione	PESO d'1 litro di gas trovato col calcolo a 0° e a 0m,76 di pressione
Aria	1,0000			grammi 1,2991	
Ossigene	1,3036	B. e A.		1,4337	
Idem	1,1026	B'. e D.		1,4323	
Gas azoto.	0,9691	B. e A.		1,2590	
Idem	0,9757	B'. e D.		1,2675	
Gas idrogene	0,0688	B'. e D.		0,0894	
Cloro	2,4216	G. e T.	2,4260	3,2088	8,1516
Gas idriodico	4,4288	G.	4,3399	5,7719	
— fluosilicico.	3,5735	J. D.		4,6423	
— clorossi-carbonico.			3,3990		4,4156
Deutosso di cloro			2,3155		3,0081
Gas fluoborico	2,3709	J-D.		3,0800	
— solforoso	2,1930	H-D.		2,8489	
— solforoso.	2,234	T.			
Cianogene	1,8064	G.	1,8197	2,3467	2,3640
Protossido d'azoto	1,5269	C.	1,5269	1,9752	1,9836
Acido carbonico	1,5196	B. e A.		1,9741	
Idem	1,5245	B'. e D.		1,9805	
Gas idroclorico	1,2474	B. e A.	1,2474	1,6205	
— idrosolforico.	1,1612	G. e T.		1,5475	1,6205
Deutosso d'azoto.	1,0388	B'.	1,0390	1,3495	1,3498
Idrogene bicarburato			0,9816		1,2752
Ossido di carbonio	0,9569	C'.	0,9732	1,2431	1,2643
Idrogene perfosforato	1,7	Dum.			
Idrog. protofosforato	1,2	Idem.			
Idem	0,9716	T'.			
Gas ammoniacale.	0,5967	B'. e A.	0,5910	0,7752	0,7678
Idrog. protocarburato			0,5596		0,7270
Idrogene arsenicato	2,695	Dum.			

Le densità della quarta colonna sono state calcolate aggiungendo i pesi degli elementi de' gas composti.

Così un volume d'ossido di cloro è formato da un volume di ossigeno e da un mezzo volume di cloro. È mestieri in conseguenza riunire il peso di un volume di ossigeno 1, 102 a quello di $\frac{1}{2}$ volume di cloro 0, 211, ciò che fa 2, 314 per la densità del gas. Il gas ammoniacale è formato da una parte e mezza d'idrogeno e di una mezza parte d'azoto. Il peso di una parte e mezza d'idrogeno è eguale a 0, 102; quello di una mezza parte d'azoto è eguale a 0, 487; la somma di questi due numeri fa 0, 589, e poco differisce da 0, 596, trovato direttamente.

Nell'istessa maniera si troverebbero le densità degli altri gas composti.

DELL' ATMOSFERA.

249. L'aria atmosferica è un composto di ossigene e di azoto nel rapporto di 21 a 79: Contiene in natura sempre più o meno di vapore d'acqua del quale impariamo a conoscere la presenza e la quantità; vedi *Igrometria* (n.º 206). Ancora, contiene sempre una quantità piccolissima di acido carbonico, proveniente dalla respirazione degli animali e d'altre cagioni. Finalmente, deve contenere più o meno de' principi odoranti esalati dalle piante. Noi rianderemo questo argomento all'articolo della meteorologia (fine dell'opera).

L'aria considerata in una tal quale spessezza apparisce turchina dando questo colore alla volta celeste, la quale ha una tinta tanto più scura quanto è più elavata nell'atmosfera.

Abbiamo fatto menzione delle proprietà de' gas, della pressione dell'atmosfera n.º 49. 52. 59.

Del decrescimento della densità dell'atmosfera.

250. *Le altezze dell'atmosfera crescendo in progressione aritmetica, decrescono le densità corrispondenti dell'aria in progressione geometrica.* Infatti supponghiamo che A H. (f. 7 t. VI) rappresenti l'altezza di tutta l'atmosfera, cioè che la linea retta sia verticalmente tirata dal suolo sino al confino dell'atmosfera, inoltre supponghiamo che si siano perpendicolarmente condotte a questa retta di alcune linee orizzontali ad eguali distanze le une dalle altre rappresentanti i differenti strati dell'atmosfera. Siano P il peso di tutta la colonna dell'atmosfera che preme su la superficie della terra, P' il peso di tutta la colonna d'aria che preme sul primo strato, P'' quello di tutta la colonna d'aria premente il secondo strato, e così di seguito; siano D la densità del primo strato, D' la densità del secondo, D'' quella del terzo, D''' ec. . . ; P—P' sarà il peso del primo strato inferiore, P'—P'' sarà il peso del secondo, P''—P''' quello del terzo, e così di seguito. Or i pesi di due volumi eguali di un medesimo gas sono proporzionali alle densità; si avrà dunque la proporzione: P—P' è a P'—P'', come D : D'; ma si ha D : D' :: P : P'. Dunque a causa del rapporto comune di queste due proporzioni, P—P' : P'—P'' :: P : P'; e quindi PP''—PP' = P'^2—P'^2; ovvero P'^2 = P'^2, eguaglianza dalla quale si ha P : P' :: P' : P''. Similmente si troverà P' : P'' :: P'' : P''', e così di seguito; quindi si deducen le eguaglianze

$$\frac{P}{P'} = \frac{P'}{P''} = \frac{P''}{P'''} = \dots \text{ ec; le quali possono essere scritte } \frac{P}{P'} : P' :$$

P'' : P''' ... , ec., il che evidentemente è una progressione geometrica decrescente; ma le densità son proporzionali alle pressioni, quindi la enunziata proposizione è dimostrata, cioè che le densità de' differenti

strati d'aria sono in decrescente progressione geometrica. Nondimeno bisogna dire non aver mai luogo rigorosamente in natura questa progressione, imperocchè la temperatura in generale decresce con la elevazione su la superficie (*Vedi* la misura delle altezze col barometro nelle note).

A principio difficilmente si concepiva la limitazione dell'atmosfera, ma è necessario notare che l'aria è pesante ed elastica, dimodochè l'atmosfera si limita dove ci ha equilibrio tra il peso dell'ultimo strato e la elasticità de'sottoposti.

Del Barometro.

251. L'invenzione del Barometro è dovuta a Torricelli. Questo sapiente discepolo di Galileo, meditando su la cagione dell'ascensione dell'acqua nelle trombe, ebbe la felice idea di paragonare l'altezza del mercurio in un barometro a quella dell'acqua nelle trombe, però scoperse essere il rapporto delle due altezze nel rapporto inverso delle densità; dimodochè l'acqua che pesa 13, 586 men del mercurio, si leva ad un'altezza 13, 586 volte maggiore. Torricelli conchinsè da ciò, esser veramente, com'egli avea sospettato, la pressione dell'atmosfera che determina l'acqua ed il mercurio ad elevarsi fin che ci sia equilibrio.

Nel 1643 fu fatta questa importante scoperta. Poco appresso, nel 1646, l'esperienza fu rinnovata da Mersenno e Pascal; l'anno seguente Pascal immaginò di renderla più decisiva facendola ad altezze diverse. Vide abbassarsi il mercurio, come il barometro era portato a maggiori altezze. Fu dunque pienamente suggellata la spiegazione di Torricelli e bisognò rinunziare all'idea che la natura avesse in orrore il vuoto.

È indispensabile l'uso del barometro in una moltitudine di esperienze; per esempio, in tutte quelle in che si opera sopra aeriformi materie. Abbiamo avuta già occasione di porre a profitto molte volte questo istromento nelle parti precedenti a questo capitolo.

Delle differenti specie di Barometro.

252. Ci ha due specie di barometro, a pozzetto cioè, ed a sifone.

Del Barometro a pozzetto.

253. Il Barometro a pozzetto consiste in un tubo di vetro largo qualche linea, lungo intorno a tre piedi, chiuso da una parte, aperto dall'altra, e verticalmente immerso per la estremità aperta in un pozzetto pieno di mercurio, di modochè una parte di tal liquido si tenga ad una cotale altezza nel tubo in virtù del peso dell'atmosfera che preme su la superficie del bagno. Innanzi che il tubo sia così fattamente locato, bisogna disseccarlo al possibile, versare appresso una piccola quantità di mercurio già bollito, e farlo nuovamente bollire per cacciar tutta l'aria aderente al tubo ed anche mista al metallo, ancora riversarvi una nuova quantità dello stesso mercurio, farlo ribollire, e così in seguito fin che il tubo sia pieno completamente, il quale lo sarà dopo sette ad otto ebollizioni. Poi, questo medesimo tubo, ben purgato d'aria e di vapore, si rovesci in un pozzetto egualmente pieno dello stesso metallo; il mercurio contenuto nel tubo scende sino ad un certo punto dove tosto si fissa, lascia sopra se uno spazio vuoto, facendo astrazione della debole elasticità del vapore di metallo siffatto alla ordinaria temperatura. Laboriosa è l'operazione precedente, e dimanda di grandi precauzioni, ed inoltre molta abitudine a questa sorta di esperienze (A).

Rimane ora solamente a misurare esattamente l'altezza della colonna barometrica, e come ciò non può eseguirsi altrimenti che per via di una scala graduata, è mestieri che il zero di essa sia sempre in contatto con la superficie del mercurio nel pozzetto; bisogna dunque render mobile il pozzetto stesso o la scala. Il Sig. Fortin rende mobile il primo, nella costruzione de' suoi barometri, dandogli solo un fondo di pelle cedevole, che per via di una vite A s'alza e si abbassa (f. g t. VI) e fa montare o scendere il livello del mercurio nel pozzetto. Per questo modo si può sempre condurre siffatto livello tangenzialmente alla estremità inferiore di una piccola punta di avorio, invariabilmente fissata, e corrispondente al zero della scala, la qua-

(A) Quando la ebollizione è troppo tempo sostenuta è concava la superficie del mercurio come il Sig. Gasbois ha notato, mentre il mercurio puro presenta una superficie convessa. Il Sig. Dulong ha recentemente conosciuto che nel primo caso il mercurio si ossida, e l'ossido formato si scioglie nel mercurio. Questa mescolanza di ossido e metallo si comporta come un liquido che bagna il cristallo. (Vedi i tubi capillari).

le è fissa, e segnata su di un tubo di rame che circonda e difende il tubo barometrico; il quale tubo di rame è spaccato in tutta la sua lunghezza perchè divenga visibile la colonna di mercurio.

È essenziale che l'istrumento sia tenuto in una verticale posizione, però dalla sua parte superiore si attacchi ad un punto fisso, e si lasci pendere liberamente; ordinariamente vien chiuso in uno astuccio che si divide in tre parti, le quali posson servire di sostegno. Volendo fare una osservazione aprasi l'astuccio, si fissino sul suolo le tre punte ed il barometro da se si metterà nella verticale.

Per via di questo congegno dunque si osserverà con facilità grandissima l'altezza della colonna di mercurio nel tubo barometrico; ma perchè le osservazioni siano tra loro comparabili bisogna ridurle ad una sola temperatura. Scelgasi zero, poichè la estimazione delle dilatazioni comincia da questo punto. Si conosce la temperatura del mercurio e della scala per via di un termometro incassato nell'involto dell'istrumento. Or, bisogna qui aver rispetto non solo alla dilatazione del mercurio ma bene a quella del metallo nel quale la scala è tracciata. La dilatazione del mercurio diminuendone la densità, rende troppo grande l'altezza osservata, quella della scala troppo piccola, poichè ogni divisione di quest'ultima essendosi dilatata di una certa quantità, il numero delle divisioni necessarie per agguagliare l'altezza della colonna di mercurio è minore evidentemente alla temperatura t alla quale si opera, di quel che sarebbe a 0° ; quanto alla scala, è chiaro che bisogna solo prendere la dilatazione lineare, poichè solo si considera la lunghezza, mentre pel mercurio è mestieri impiegare la dilatazione cubica. Per il che, rappresentando per h l'altezza della colonna di mercurio osservata nel tubo ad una certa temperatura t , e supponiamo che k sia il coefficiente $\frac{1}{273}$ della dilatazione cubica del mercurio. Come i volumi di una medesima massa di materia sono in ragione inversa delle densità, e le densità son qui in ragione inversa delle altezze, ne risulta che i volumi sono proporzionali alle altezze. Se in conseguenza rappresenteremo per x il volume della colonna di mercurio a 0° , $1+kt$ sarà il volume di questa medesima colonna a t gradi, e l'altezza x del mercurio a 0° sarà data dalla proporzione

$$1 : 1+kt :: x : h,$$

e quindi $x = \frac{h}{1+kt}$. Sia similmente k' il coefficiente della dilatazione lineare del rame: qui l'altezza osservata sarà in ragione inversa della lunghezza di una divisione; or se 1 è questa lunghezza a 0° , a t gradi sarà $1+k't$; si avrà dunque la proporzione

$$1 : 1+k't :: \frac{h}{1+kt} : x', \text{ dalla quale si ottiene per la}$$

$$\text{vera altezza del mercurio a } 0^\circ, x' = \frac{h(1+k't)}{1+kt}.$$

È inutile aver riguardo alla dilatazione del tubo di vetro, poichè noi sappiamo (n° 40) che l'altezza della colonna di mercurio nel barometro è indipendente dalla larghezza del tubo.

Applicazione. Un barometro la cui scala è di rame indica 0^m, 762 a 22°.

$$k' = \frac{1}{59200} \text{ per ciascun grado centigrado.}$$

$$k = \frac{1}{5550} \text{ id.}$$

Sostituendo alle lettere i valori numerici nella formola, si ottiene 0^m, 759 per l'altezza ridotta a zero.

Quando si vuol trasportare l'istrumento da un luogo ad un'altro, basta elevare il fondomobile del pozzetto fino a riempire il tubo ed il serbatoio. In tal modo, trovandosi il tubo completamente riempito di mercurio, è chiaro che malgrado le scosse che riceve nel trasporto, non potrà rompersi per le oscillazioni del liquido che contiene, ciò che avverrebbe se avesse nella parte superiore del tubo il più piccolo spazio vòto, e di più l'aria non vi si potrà in niuna maniera introdurre. È bene di notare che il tubo è leggermente strozzato in alto, affinchè nei piccoli movimenti il mercurio non urti bruscamente il fondo del tubo.

Affin di render tutte le osservazioni paragonabili bisogna aver conto dell'azione capillare (vedi tubi capillari).

*Quadro delle depressioni del mercurio nel barometro
dovute alla capillarità.*

Diametri nteriori de'tubi in millim.	Depressione in millim.	Diametri interiori de'tubi in millim.	Depressione in millime.
2	4,56	12	0,26
3	2,90	13	0,20
4	2,04	14	0,16
5	1,51	15	0,12
6	1,15	16	0,10
7	0,88	17	0,08
8	0,69	18	0,06
9	0,54	19	0,05
10	0,42	20	0,04
11	0,35		

La depressione è indicata in questa tavola da' diversi diametri che i tubi de' barometri possono avere da due sino a venti millimetri. Quando si osserva l'altezza di un barometro, bisogna aggiungere all'altezza la depressione che corrisponde al diametro del tubo.

Barometro a Sifone.

254. Il barometro detto a Sifone a cagione della sua forma, non ha pozzetto, o per dir meglio, l'istesso tubo ne fa le veci; esso è curvato nel basso in C (f. 10 t. VI), e formato conseguentemente di due braccia CA, CB. Per ottenere tal disposizione, si prende un tubo per quanto più è possibile cilindrico, chiuso ad un'estremo, aperto all'altro. Gli si dà la forma di un sifone curvandolo alla lampada, ed avvertendo che l'estremità aperta corrisponde al braccio corto, dando all'altro più di 28 pollici di lunghezza. Ciò posto, se B è il punto nel quale monta il mercurio nel braccio chiuso, ed A quello nel quale si mantiene nell'altro, la differenza AB de' livelli di queste due colonne di mercurio è l'altezza barometrica. La lunghezza di questa colonna di mercurio non può misurarsi che per mezzo di una scala che si fa muovere parallelamente al braccio CB, di maniera a portare il zero delle divisioni al livello dell'estremità A della colonna del più corto braccio.

Il barometro a sifone ha sul barometro a pozzetto il vantaggio di essere indipendente dall'azione capillare; ed invero poichè le due braccia hanno sensibilmente il medesimo diametro interiore, per essere stato il tubo rettilineo col quale furon formate cilindrico per quanto fu possibile, e di più per essere stato il corto braccio preso sulla parte superiore del più grande, le tendenze alla depressione sono dunque eguali dall'una e l'altra parte e sicontrabbilaneiano scambievolmente. Ma e' ci ha un'inconveniente, essere cioè meno sensibile del barometro a pozzetto, poichè la variazione del livello in una delle braccia è la metà di quella che ha luogo in quest'altro strumento.

Per rendere portabile il barometro a sifone fu adottato un robinetto al braccio aperto, ma questo trovato aveva l'inconveniente di sporcare il mercurio della materia grassa necessaria al robinetto. Il Gay-Lussac ha evitato l'impiego di un robinetto e conseguentemente di una materia grassa della maniera seguente: riunisce egli le due braccia AB ed EC del barometro (f. 11 t. VI) mediante un tubo BC di un diametro molto più piccolo (1 a 2 millimetri). Il corto braccio chiuso alla sua parte superiore è forato lateralmente di un'apertura capillare E in forma d'imbuto. Quest'apertura, sufficiente perchè l'aria atmosferica eserciti la sua pressione, è troppo piccola per far uscire il mercurio quando vien rovesciato il barometro (f. 12 t. IV). Si metta l'istrumento in questa posizione quando si vuol trasportare da un luogo ad un'altro; se s'introduce una piccola quantità d'aria nel tubo capillare BCD, come lo mostra la (f. 13 t. VI) quest'aria è scacciata dal mercurio quando si rimette l'istrumento nella sua posizione naturale (f. 11 t. VI).

Il Sig. Gay-Lussac, e Descotils si son serviti di un'istrumento

di questo genere in molti viaggi, e non è loro sembrato alterarsi. Intanto alcuni fisici si sono accorti che dopo un certo tempo s' introduce dell'aria nella parte superiore del più lungo braccio. Per ovviare a quest'inconveniente il Sig. Bunten distinto artista di Parigi, ha saldato al grande braccio un tubo sottile come l'indica la (f. 14 t. VI): l'aria occupa allora lo spazio mK , dal quale molto facile torna di farla uscire scuotendo l'istrumento; d'altra parte, la presenza di questo fluido in m , purchè la colonna metallica non sia divisa, non ha punto influenza sull'altezza del mercurio. Egli è vero intanto che quest'ultima disposizione rende difficilissima la costruzione del nuovo barometro. Può l'istrumento esser chiuso in un astuccio di metallo fesso da una parte della sua lunghezza, e sul quale è segnata la scala, ovvero in un bastone.

Barometro a quadrante.

255. Il barometro a quadrante (f. 16 t. VI) differisce dal barometro a sifone, del quale abbiám parlato, solo in quanto che nell'orizzio del corto braccio si trova una piccola puleggia A perfettamente mobile, il centro della quale è fissato a quello di un quadrante dietro a cui è attaccato il barometro. Questa puleggia corrisponde ad un'ago destinato a percorrere le divisioni del quadrante; su la circonferenza della medesima è avvolto un filo, alle estremità del quale sono sospesi due piccoli pesi p , p' , de'quali uno penetra nell'interno del tubo, e l'altro è libero al di fuori. Il peso esteriore p' fa equilibrio all'altro p , ed il sistema di questi due pesi perfettamente mobile intorno alla puleggia A, è tale che il peso p poggia su la superficie del mercurio senza mai in alcun modo deprimerla.

È chiaro, in conseguenza di questa disposizione, che quando il mercurio s'abbassa nel braccio aperto e s'eleva nell'altro, cioè quando l'atmosfera aumenta di gravità, il peso p debba discendere col mercurio e l'estremità dell'ago occupar la parte superiore del quadrante medesimo; nel caso contrario il peso p debba montare col mercurio, e l'ago collocarsi nella parte inferiore del medesimo; finalmente che quando il mercurio è giunto ad un'altezza media, debba l'ago prendere una posizione intermedia. Ed avendo notato per via di lunga mano di osservazioni che quando monta il mercurio nel barometro o discende, è per ordinario segno di buono o cattivo tempo, si è segnato *cattivo tempo* al punto meno elevato del quadrante, *bel tempo* al più alto, e *variabile* al punto intermedio.

Prima di osservare siffatto barometro, è utile il batterlo dolcemente per vincer lo strofinio delle diverse parti. Sia come si voglia, questo barometro non dev'esser punto impiegato nelle osservazioni che han mestieri di grande esattezza.

256. Si è riconosciuta la più comune altezza del barometro a livello dell'oceano quando l'aria è tranquilla, essere 0^m 7609, o 28

pollici circa, e questa è stata notata come altezza media. Diversamente addivene quando il tempo è agitato e presso la tempesta; allora l'altezza del barometro patisce variazioni continue.

257. Ci avanza solo a far conoscere la maniera per la quale vengono comparativamente assemblate di molte e molte osservazioni su l'andamento del barometro. Un quadro grafico è il più comodo metodo, per il quale si adopera come una striscia di carta, al cui mezzo si segna una linea retta AB (f. 4 t. VI) che da un capo all'altro l'attraversa; si divide la medesima linea in un dato numero di parti eguali destinate a rappresentare i giorni; si elevano pe' punti di divisione delle perpendicolari dilungantesi su e giù parallelamente tra loro, e dai due lati di essa se ne disegnano molte altre ad eguali distanze.

Appresso, quando il barometro si osserva in un dato giorno, se l'altezza è media, cioè $0^m, 760$, notisi il punto A della linea principale corrispondente a quel giorno. Essendo ella più alta, per esempio, di un millimetro, si monta alla prima parallela sopra AB ; s'ella è minore ridiscendasi alla parallela corrispondente sotto la medesima linea. Si hanno così le osservazioni di tutt'i giorni successivi, ciascuno al luogo, ed all'altezza conveniente: per tutt'i punti $A, b, c, d, e, \dots$ si mena la linea spezzata $A b c d e \dots$ la quale, per le sue sinuosità diverse, rappresenta fedelmente lo stato del barometro nelle successive epoche in cui sono state fatte le osservazioni. E per ispezione di un quadro simile, in un gran numero di casi, si vede che quando si è abbassato il barometro è caduta la pioggia, ed al contrario quando si è elevato la serenità si è diffusa. Vi ha di alcune eccezioni, ma rare. Per via di simili osservazioni è riconosciuto come il barometro ad onta di ogn' irregolarità del suo cammino, sia sottoposto ad una causa che lo fa scendere e montare in alcune ore del giorno periodicamente. Così, tocca il massimo della sua altezza verso le nove del mattino, indi comincia a discendere sino a circa quattr'ore della sera dove tocca il minimo dell'altezza sua. Ricomincia dopo a montare sino a quasi undici ore di sera, dove di nuovo tocca il massimo punto, e discende nuovamente sino a circa le quattro del mattino, dove pure giunge al suo minimo per ritornare al massimo verso le nove ore, e del pari in seguito; tanto risulta dalle osservazioni fatte dall'Humboldt in America, ed in Francia dal Ramond. Quest'andamento regolare è spesso turbato in Europa essendovi variabilissimo lo stato dell'atmosfera; ma sotto i tropici il periodo è molto più costante, e tale, secondo il Sig: Humboldt, che il barometro potrebbe servire ad indicare l'ora del giorno.

Si osserva che in Europa il massimo del mattino ha luogo verso nove ore nell'inverno ed otto ore nella state.

Per le osservazioni su le variazioni in un medesimo luogo, il barometro inclinato è molto comodo. L'altezza del mercurio in questo barometro essendo all'altezza del barometro verticale come $1 : \cos$.

le^{le}, le variazioni saranno parimenti più grandi nel medesimo rapporto (*f.* 8 *t.* VI.)

Noi farem parola di alcuni altri barometri non a causa della loro utilità, ma perchè sono un'applicazione de' principj da noi esposti.

258. Il *Barometro d'Amontons* consiste in un tubo conico di 30 pollici circa (*f.* 5 *t.* VI). Il mercurio vi si sostiene ad un di presso alla medesima altezza del barometro ordinario. Se la pressione atmosferica aumenta, la colonna si eleva e si allunga. Se questa pressione diminuisce, la colonna si abbassa e si raccorcia. L'azione capillare producendo un'effetto variabile colla differenza de' diametri *m* e *n* torna molto difficile a poterla estimare. Costante si renderebbe quest'azione dando al barometro la forma della *f.* 2 *t.* VI; l'unico vantaggio di un tale strumento sarebbe di dare delle variazioni di altezze più grandi che nel barometro ordinario; ma avrebbe il grande inconveniente di dividersi per l'introduzione dell'aria. Se *d* rappresenta il diametro del picciol tubo, *D* quello del grande, *x* la variazione del livello del mercurio nel picciolo tubo, *y* la variazione reale

del barometro, si avrà $y = x - \frac{yD}{D-d}$, e quindi $x = \frac{yD}{D-d}$, il quale va-

lore tanto più sarà grande quanto meno *D* differisce da *d*. La figura mostra l'istumento in una situazione rovesciata.

259. Il *barometro di Descartes* è più complicato, e vien rappresentato dalla *f.* 15 *t.* VI. Il tubo è pieno di mercurio fino ad *H*; al di sopra vi ha un liquido leggiero fino ad *l*; le variazioni del livello al punto *l* saranno necessariamente più grandi del barometro ordinario. Per determinare le idee, supponiamo il diametro di *gl* cento volte più piccolo di quello di *KH*; quando il mercurio si eleva di 1^{mm} in *HK*, il liquido del tubo *gl* si eleverà di 100^{mm}, e l'elevazione totale sarà 1^{mm} + 99^{mm}; di maniera che se la densità del liquido superiore è $\frac{1}{100}$ di quella del mercurio, la variazione totale equivarrà a 10^{mm}, 9 di mercurio (A). Noi noteremo che bisognerà aver conto dell'elasticità del vapore la quale varia colla temperatura.

Huyghens, Farenheit, Cassini, Bernulli hanno eziandio proposti barometri particolari, ma oggi non hanno più applicazione.

260. Il *barometro differenziale* proposto per Hyde Wollaston è formato di un tubo di vetro di tre linee di diametro interiore, e ricurvo a foggia di sifone (*f.* 6 *t.* VI). Ciascuna estremità è lutata ad un serbatoio di due pollici di diametro. Uno di questi serbatoi è chiu-

(A) Sia *A* la variazione del barometro ordinario, *r* il rapporto tra il diametro di *HK* a quello di *gl*, *d* la densità del mercurio per rapporto al liquido, *x*

la variazione del livello nel tubo *gl*, si avrà la relazione $\frac{x}{d} - \frac{x}{rd} + \frac{x}{r} = A$.

so da tutte parti ad eccezione di una piccola apertura fatta superiormente alla parete laterale, la quale apertura riceve un tubo orizzontale. L'altro serbatoio è aperto. La parte ricurva del sifone è riempita d'acqua, ed il resto, ed i serbatoi fino all'altezza di $\frac{1}{2}$ pollice circa sono pieni d'olio. Si riduce alla medesima altezza il livello dell'acqua in ciascun braccio. Se si applichi il tubo orizzontale al foro di una serratura, o a qualunque altra apertura praticata nel tramezzo che separa le due porzioni d'atmosfera nelle quali la pressione è disuguale, il fluido nella metà corrispondente sarà depresso. La *fig. 6 t. VI*, 2 rappresenta lo stato del barometro quando l'atmosfera che preme in A è superiore a quella che preme in B. I punti *n* ed *n'* non son più sopra una medesima linea orizzontale; nel qual caso l'eccesso della pressione in A più la colonna di olio *mn* fa equilibrio alla colonna d'acqua *n'v* più alla colonna d'olio *m'n'*.

Sia *d* la gravità specifica dell'olio, *a* l'abbassamento del livello nel pozzetto A, *l* la lunghezza della colonna d'olio *mn*, A la lunghezza dell'abbassamento del livello dell'acqua *N'n* che è eguale all'elevazione *Nn'*, in fine *x* l'altezza della colonna d'acqua che misura la differenza della pressione cercata, si avrà:

$$x + dl = 2A + d(l + 2a - 2A), \text{ e quindi} \\ x = 2A(1 - d) + 2ad.$$

Se il sifone contenesse un sol liquido si avrebbe, $d = 1$, in conseguenza $x = 2a$; cioè, che la pressione sarebbe eguale alla differenza di livello nei due pozzetti A e B, come è evidente.

Se R è il diametro del pozzetto A, e *r* quello del sifone, si avrà:

$$Ar^3 = aR^3, \text{ e però } a = \frac{Ar^3}{R^3}. \text{ Questa equazione servirà a dare}$$

a per mezzo di A, quando l'abbassamento nel pozzetto sarà troppo piccolo per essere misurato direttamente.

Tanto più sensibile sarà questo barometro quanto più la differenza delle densità tra i due liquidi sarà minore.

(Vedi più particolari nel *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1829 p. 281, una nota del Sig. Hachette)

Della macchina Pneumatica.

261. La macchina pneumatica, la invenzione della quale è attribuita ad Otto di Guericke, è un' istromento proprio a rarefare l'aria contenuta in un determinato spazio. In origine ella era ben diversa da quel ch'è oggi, imperciocchè consisteva semplicemente in un cilindro vòto col nome di corpo di tromba (*fig. 26 t. VI*) nel quale uno stantuffo P scorreva a strofino, mosso per via di un'asta T. Alla base inferiore di siffatto corpo di tromba, erano due piccoli condotti; ad uno de' quali era adattato un robinetto R, all'altro, munito di simile robinetto R', era avvitato il collo del recipiente di che si voleva rare-

fare l'aria. Aprivasi il robinetto R, chiudevasi il robinetto R' quando si riabbassava lo stantuffo. Chiudevasi il primo, aprivasi il secondo quando il medesimo si rialzava, dimodochè al termine di un cotal tempo si era quasi tutto vuotato di aria il recipiente.

Ma l'imbarazzo di aprire e chiudere ad ogni momento questi due robinetti era inconveniente grandissimo, però dapprima sono stati rimpiazzati da due valvole A e A' (f. 27 t. VI) l'una locata nello stantuffo, l'altra nell'interno del corpo di tromba, ambe aprendosi da dentro al di fuori.

262. La valvola A' offre un'inconveniente che non aveva il robinetto del quale prende il luogo, cioè il non più sollevarsi dopo un certo numero di colpi di stantuffo. Ben si comprende effettivamente che la forza elastica dell'aria interiore del recipiente B diventando tanto debole da non poter più vincere la resistenza di questa valvola, il vòto non può esser fatto oltre quel termine. Ancora non è più in uso questa valvola nelle macchine pneumatiche, essendo stata rimpiazzata da un picciolo cono troncato solido, che esattamente riempie l'apertura del condotto che comunica col recipiente, la quale è parimenti di forma conica; questo piccolo cono è fissato alla estremità di un'asta metallica *tt'* traversante a strofinio lo stantuffo (f. 18 t. VI). A questo modo abbassando lo stantuffo, l'asta *tt'* si abbassa, mena il cono troncato nella imboccatura del condotto, e lo stantuffo vincendo lo strofinio dell'asta *tt'* continua di abbassarsi; quando al contrario lo stantuffo si eleva, l'asta *tt'* del pari si eleva, ed il cono troncato uscendo dalla sua imboccatura apre strada all'aria del recipiente, sia quanto si voglia debole la forza elastica. Ma lo stantuffo P monta ben tosto senza puranche elevare l'asta *tt'*, la quale è arrestata dalla parte superiore del corpo di tromba. Finalmente si è anche sostituita alla valvola S un'altra metallica fissata nell'interno dello stantuffo, la quale si richiude sopra se stessa mediante una piccola molla.

263. Questa macchina non è peranche ben comoda nella pratica, chè quando si comincia a fare il vòto nel recipiente, l'aria interiore ch'è contiene avendo quasi la stessa forza elastica della esterna, non dà alcuna pena a sollevar lo stantuffo: ma fatto il vòto ad un tal grado, l'aria interna del recipiente ha una debolissima forza elastica, e lo stantuffo deve sollevare il peso dell'atmosfera; per la qual cosa è necessario un considerabilissimo sforzo per sollevarlo nel corpo di tromba, però si rimedia a siffatto sconcio nelle macchine che oggidì si van costruendo, nell'impiegar due corpi di trombe che per uno stesso condotto si fanno comunicare col recipiente (f. 19 t. VI). Questi sono perfettamente eguali e non differiscono punto dal precedente nella loro disposizione interna, se non che le aste de' due stantuffi sono dentate, ed incastrano con una stessa ruota parimenti dentata che si fa muovere per un doppio braccio di leva M M', girando intorno l'asse della ruota. La ruota dentata animata dal

moto della leva opera ad un tempo su i due stantuffi, a modo che se l'uno monta l'altro scende. E poichè l'atmosfera pesa del pari su quel che monta e su quello che scende, ne risulta che quasi rimanga lo stesso quello sforzo necessario per mettere in moto la macchina.

264. Qualunque siasi la perfezione d'una macchina pneumatica, non è possibile pervenire a fare interamente il vòto nel recipiente, perocchè bisognerebbe, per torre rigorosamente tutta l'aria dal recipiente, far operare lo stantuffo per un tempo infinito, ma tosto si giunge al limite, imperocchè oltre che la valvola dello stantuffo non cede più quando la elasticità dell'aria è di molto indebolita, l'oglio destinato a facilitare il movimento de' due stantuffi si riduce in parte allo stato di gas. Perlocchè il vòto fatto nelle migliori macchine è ad un di presso di un millimetro. Altra volta si costruivano macchine dette di esaurimento colle quali il vòto si portava più innanzi; queste macchine, di ch'era un po' complicata la costruzione, sono state abbandonate. Il Sig. Babinet, ha immaginato non ha guari un nuovo meccanismo, che permette, senza punto complicare la macchina, di votare più perfettamente un recipiente. Ogni corpo di tromba comunica col recipiente per un particolare condotto, e quando si è quasi giunto alla più grande rarefazione che si otterrebbe con una macchina ordinaria, si impedisce per via di un robinetto la comunicazione fra uno de' corpi di tromba ed il recipiente, e se ne stabilisce una fra i due corpi di tromba.

Si continui a far operare i due stantuffi. Quello che non comunica più col recipiente, assorbe l'aria dell'altro corpo di tromba.

Sia a la massa d'aria che resta quando la macchina ordinaria cessa di essere efficace; R la capacità di ciascun corpo di tromba; r lo spazio lasciato al di sotto dello stantuffo quando questo trovasi al più

basso punto del suo corso, — sarà la densità dell'aria atmosferica o dell'aria prima che si mette la macchina in azione; — sarà la densità dell'aria rarefatta, e quindi — la misura della rarefazione. Nella

macchina del Sig. Babinet, l'aria del corpo di tromba che ha una comunicazione col recipiente in una posizione del robinetto, passa nell'altro corpo di tromba in una differente posizione del robinetto me-

desimo, di maniera che nella capacità r non resterà che $\frac{a \cdot r}{R \cdot R}$, e per-

rò il potere rarefaciente della macchina modificata è a quello della macchina ordinaria come r a R , il qual potere può essere espresso per

$\left(\frac{r}{R}\right)^2$; poichè si ha $\frac{r}{R} : x :: r : R$, x essendo il potere cercato.

265. Affin di poter giudicare ad ogni istante del grado di rarefazione, si stabilisce la comunicazione tra l'interno del recipiente della macchina e la parte superiore di un barometro a pozzetto AB (*f. 19 t. VI*): questo barometro è annesso alla più parte delle macchine, ma in tal maniera è disposto da poterlo togliere a volontà. Quando non ancora si è messa in azione la macchina, il livello nell'interno del tubo è lo stesso che nell'esterno; ma a misura che si dà moto allo stantuffo, la forza elastica dell'aria interiore del recipiente diminuendo, il mercurio necessariamente monta nel tubo. Sia h l'altezza del mercurio nel barometro adattato alla macchina; p la pressione dell'atmosfera; l'elasticità dell'aria interiore sarà $p-h$; prima di esser rarefatta l'aria del recipiente, occupava il medesimo volume sotto la pressione p : e come i pesi di eguali volumi d'aria sono proporzionali alle pressioni, $x \propto \frac{p-h}{p}$ sarà il peso dell'aria restata nel globo, x essendo il peso primitivo dell'aria.

In alcune macchine pneumatiche si giudica del vòto mediante un istrumento chiamato *provetta*, o *barometro raccorciato* che si mette sotto una piccola campana, la quale è fissata ermeticamente sopra un piede scavato interiormente, comunicante col recipiente ed il corpo di tromba. Quest'istrumento si compone di un tubo BCA (*f. 20 t. VI*) ricurvo a foggia di sifone ed alto circa 8 a 10 pollici. Uno de' bracci CB è chiuso, l'altro CA è aperto, e vi ha tanta quantità di mercurio da riempire intieramente il braccio chiuso. Quando l'aria dell'interno della macchina sarà tanto rarefatta da non poter più sostenere il mercurio fino all'estremità del braccio chiuso, questo metallo vi si abbasserà, ma sarà sempre più alto in quest'ultimo che nel braccio aperto. La differenza di livello misurata per mezzo di una scala segnata a costo del tubo, o sul tubo medesimo, esprimerà precisamente l'elasticità dell'aria nel recipiente. Questo barometro raccorciato può solo servire nelle esperienze nelle quali la rarefazione dell'aria è molto considerabile.

266. Possiamo intanto proporci calcolare qual proporzione si vien seguitando nell'espellere l'aria nella macchina a due corpi di tromba. È problema facilissimo a risolvere quando si conosca il rapporto della capacità del recipiente compresavi quella de' tubi di comunicazione alla capacità di uno de' corpi di tromba. Io dico l'uno de' corpi di tromba, poichè essendo ambedue di perfetta uguaglianza, ed essendo i stantuffi fra loro ligati a tal modo che quando l'uno è al più alto punto nel suo corpo di tromba, l'altro è al più basso nel suo, è però evidente che il volume della quantità d'aria che fa uscire ogni giro di manovella è uguale alla capacità di uno solo pe' corpi di tromba sopradetti (A).

(A) Sieno dunque F la capacità del recipiente, P quella di ciascuno de' corpi

267. Gli apparecchi non ha guari descritti sono spesso impiegati in fisica.

Soprattutto con la macchina pneumatica ponno eseguirsi una infinità di esperienze istruttive; si vuole, per esempio, dimostrare la necessità dell'aria nella respirazione degli animali? allora sotto il recipiente si collochi un'uccello, ovvero un porcellino d'India; ponendo in attività la macchina, si vedrà l'animale agonizzare, indi morire ben tosto.

Volendosi provare l'esistenza dell'aria nell'acqua ed in tutt'i liquidi, si collochi sotto il recipiente l'uno de' liquidi, qualunque e' siasi,

di tromba; A la massa dell'aria contenuta in questo recipiente. Se per maggior semplicità, si supponga che uno de' stantuffi si trovi al suo punto più basso, e conseguentemente l'altro al suo punto più alto, quest'ultimo andrà con un giro di manovella al suo punto il più basso; e come il volume della quantità d'aria era $F+P$, poichè questo stantuffo aveva al di sotto di se un volume P d'aria, il primo giro di manovella avrà fatto uscire il medesimo volume P ; e per la

proporzione $A : x :: F + P : P$, si avrà $x = \frac{AP}{F + P}$ per la quantità d'aria

estratta, e quindi la quantità che ne resterà sotto del recipiente sarà eguale ad

$A - \frac{AP}{F + P}$ ovvero $\frac{AF}{F + P}$. Il resto si troverebbe parimenti colla proporzione

$A : x :: F + P : F$. Facendo fare un secondo giro alla manovella, l'altro stantuffo abbassandosi sarà uscire anche un volume d'aria eguale a P , il cui peso x' calcolato per mezzo della proporzione

$$\frac{AF}{F + P} : x' :: F + P : P \text{ sarà } x' = \frac{AFP}{(F + P)^2}$$

Per un terzo colpo di stantuffo ne verrà tolta $\frac{AF^2 P}{(F + P)^3}$, , e per m colpi

$\frac{AF^{m-1} P}{(F + P)^m}$. Il primo resto è $\frac{AF}{F + P}$; il secondo è $\frac{AF^2}{(F + P)^2}$; il terzo sareb-

be $\frac{AF^3}{(F + P)^3}$; ed in fine lo m^o $\frac{AF^m}{(F + P)^m}$.

Applicazione. Il rapporto tra la capacità di uno de' due corpi di tromba di una macchina pneumatica, ed un globo nel quale si vuol fare il vòto è 5 : 12.

lit
Il globo contiene 5,35 d'aria. Si dimanda quant'aria vi resterà dopo otto colpi di stantuffo.

e dal primo colpo di stantuffo si vedrà sprigionarsi l'aria sotto forma di bolle.

Ciascuno, per via della macchina pneumatica, potrebbe assicurarsi che la pressione dell'atmosfera ritarda l'ebollizione de' liquidi, e che per conseguente questa ebollizione deve aver luogo ad una più bassa temperatura sul' elevate montagne che su la superficie della terra. Difatti mettendosi l'acqua tepida sotto il recipiente della macchina, si perverrà a farla bollire per un conveniente grado di rarefazione dell'aria; e lasciando entrare l'aria esteriore, l'ebollizione cessa all'istante.

Dopo queste cose si vede, che sostituendo in siffatta esperienza all'acqua un misto di questo liquido ed'una sostanza fissa, il liquido medesimo potrà essere scacciato ad una debole temperatura. A questo modo nei laboratori di chimica si ottengono nello stato di purezza alcune sostanze che l'aria o il calore vengono alterando. Si è del pari adoperata la macchina pneumatica in alcuni lavori in grande, per esempio nella concentrazione dello sciroppo, della colla forte ec. ec.

Delle macchine a compressione.

268. Le macchine a compressione sono assolutamente l'opposto delle pneumatiche, poichè queste servono a rarefar l'aria, quelle al contrario son destinate a condensarla. La macchina a compressione (f. 22 t. VI) la più semplice si compone di un corpo di tromba A C nel quale scorre a strofino uno stantuffo P intieramente solido. La

Ecco il quadro de' risultati dopo ciascun colpo di stantuffo

	Quantità estratte	Resti
	litri	litri
1 ^{mo} colpo di stantuffo	1, 573	3, 776
2 ^o	1, 111	2, 666
3 ^o	0, 784	1, 882
4 ^o	0, 553	1, 328
5 ^o	0, 391	0, 938
6 ^o	0, 276	0, 662
7 ^o	0, 195	0, 467
8 ^o	0, 137	0, 330
	lit	

Dopo otto colpi di stantuffo resta 0 , 330.

Si son successivamente calcolati i risultati parziali affin di mettere sotto gli occhi del lettore la progressione decresecente delle quantità estratte, e delle quantità restanti; ma si sarebbe potuto immediatamente calcolare l'ultimo resto.

Per assicurarsi dell'esattezza de' calcoli, si aggiungano le quantità estratte all'ultimo resto, e si vegga se si ottiene la quantità primitiva.

parte inferiore di questo corpo di tromba corrisponde ad un picciolo condotto al quale s'invita il recipiente B in cui si voglia condensar l'aria. All'orifizio di simil condotto è una valvola S che s'apre d'alto in basso, e verso la parte superiore del corpo di tromba è praticata una picciola apertura *f* destinata a lasciare entrar l'aria esteriore. Per via di questa disposizione vedesi facilmente, che nell'abbassarsi dello stantuffo P nel corpo di tromba, tutta l'aria che trovasi al di sotto essendo fortemente compressa, forza ad aprirsi la valvola S, e così s'introduce nel recipiente B. Ma non prima lo stantuffo si eleva che formandosi un vòto nel corpo di tromba, l'elasticità dell'aria condensata del recipiente forza la valvola S a chiudersi sopra se stessa, però l'aria non può in verun modo sprigionarsi. E quando lo stantuffo P si trova sopra dell'apertura *f*, l'aria esteriore si precipita nel vòto del corpo di tromba, e completamente lo riempie. Allora si abbassi novellamente lo stantuffo, e l'aria contenuta nel corpo di tromba similmente s'introduce nel recipiente B, e così di seguito.

269. I corpi di tromba che oggi si costruiscono per servire alla condensazione dell'aria, tanto differiscono dal precedente in quanto che la valvola S è rimpiazzata per una valvola meccanica in tal maniera disposta da aprirsi dal di fuori in dentro per dar passaggio a tutto ciò che tende ad entrare nel recipiente B; ma ben tosto ella si chiude in virtù di una piccola molla ed impedisce il passaggio a tutto ciò che tende ad uscire. L'apertura praticata nello stesso corpo di tromba è del pari rimpiazzata da una valvola S' la quale si apre dall'esteriore all'interno affin di lasciare entrare l'aria, e che si richiude poi quando l'aria del corpo di tromba ha acquistato un certo grado di elasticità. (*f.* 23 *t.* VI).

Da ultimo, per render più continua l'azione della macchina si adoprano due corpi di tromba collegati insieme, come nella macchina pneumatica, per mezzo di una ruota dentata; ma in quella di compressione questi non producono il medesimo vantaggio, poichè è chiaro esser sempre necessario uno sforzo considerevolissimo per condensar l'aria esteriore nel recipiente. Per scemare questo sforzo si fanno gli stantuffi del minor diametro possibile.

Affin di evitare ogui accidente, nel caso che il recipiente si rompa per effetto della condensazione dell'aria, vien esso circondato da una forte rete di ferro, e si fissa fra due piani di rame mantenuti stretti con viti (*f.* 25 *t.* VI).

Ben si comprende, in conseguenza della costruzione di macchina siffatta, che a ciascun colpo di stantuffo viene introdotto la stessa quantità d'aria.

Per giudicare del grado di condensazione dell'aria, il mezzo più naturale sarebbe di mettere in comunicazione col recipiente un pozzetto V in parte pieno di mercurio nel quale pescasse un tubo HK aperto da ambedue le estremità; questo tubo pescando colla sua base nel mercurio, e comunicando colla sua parte superiore coll'atmosfera

ra, indicherebbe l'eccesso della pressione dell'aria del recipiente su la pressione esteriore. Prima di mettere in azione la macchina, l'aria interna del recipiente avendo la medesima forza elastica dell'aria esteriore, il livello del mercurio sarebbe lo stesso tanto nel pozzetto che nel tubo, ma a misura che l'aria si vien condensando, come la forza elastica ne diverrebbe sempre più grande, il mercurio monterebbe maggiormente, e si riconoscerebbe, a cagion d'esempio, che l'aria si è condensata pel valore di un'atmosfera, quando il mercurio si fosse elevato a 28 pollici, di due atmosfere quando si fosse elevato a 56 pollici, e così in seguito.

Questo mezzo richiederebbe un tubo barometrico lunghissimo, e però non vien mai messo in opera. Si fa uso di un'istrumento il quale si compone di un pozzetto pieno di mercurio in cui pesca un tubo di una certa grandezza chiuso all'estremità superiore, e pieno d'aria alla pressione ordinaria (*f. 24 t. VI*); s'invita quest'apparecchio sul tubo CD, il quale stabilisce la comunicazione tra il corpo di tromba ed il recipiente della macchina, di modo che il pozzetto sia semplicemente in comunicazione col recipiente. Prima di fare agire la macchina, l'aria interiore di questa provetta avendo la medesima forza elastica dell'aria del recipiente, il livello del mercurio è il medesimo tanto nel tubo che nel pozzetto. Ma a misura che l'aria vien condensandosi, il mercurio nel pozzetto essendo premuto da una forza più considerabile, il livello cangia, e monta di più in più nel tubo. Per mezzo della differenza de'livelli facilmente può stimarsi il grado di condensazione (B).

(B) Sia h questa differenza: la forza elastica dell'aria interiore del recipiente fa equilibrio all'aria del tubo più alla colonna h ; se dunque rappresentiamo per P la forza elastica dell'aria corrispondente al volume primitivo V , e V' il

volume attuale, $\frac{VP}{V'}$ sarà, secondo la legge di Mariotte, la forza attuale dell'aria contenuta nella provetta, e conseguentemente $\frac{VP}{V'} + h$ rappresenterà quella

dell'aria interiore del recipiente; ma è noto che i pesi del medesimo gas, presi sotto il medesimo volume, sono proporzionali alle forze elastiche; se dunque rappresentiamo per A il peso dell'aria contenuta nel recipiente prima dell'esperienza, e per x il peso alla fine dell'esperienza, la proporzione

$$\frac{A}{\frac{VP}{V'}} : x :: K : \frac{VP}{V'} + h \text{ ci darà}$$

$$A \left(\frac{VP}{V'} + h \right) = x \frac{VP}{V'}$$

$$x = \frac{A \left(\frac{VP}{V'} + h \right)}{\frac{VP}{V'}} = A \left(\frac{VP + V'h}{VP} \right), \text{ ovvero, in altri termini si è con-}$$

$$\text{densata l'aria nel rapporto di } 1 \text{ a } \frac{VP + V'h}{VP}.$$

270. *Schioppo a vento*, La principal parte di questo schioppo è un calcio di ferro alla bocca del quale vi ha una valvola elastica che si apre dal di fuori al di dentro. Per caricarlo s'invita alla bocca del calcio un corpo di tromba analogo a quello delle macchine a compressione, e dopo aver condensata nel calcio gran copia d'aria si toglie il corpo di tromba, e si mette in vece una canna di ferro lunga 4 piedi circa, nella quale si introduce una palla di corrispondente calibro, e vi si calca come negli ordinari schioppi.

Per far uscire la palla si tira semplicemente col dito una piccola molla adattata al calcio: questa molla fa aprire la valvola, e per tal mezzo una parte dell'aria condensata che trovavasi nel calcio si precipita e spinge per la sua elasticità la palla ad una grande distanza. Come la valvola si chiude subito dopo aperta, solo una piccola quantità dell'aria condensata è quella che esce al momento; di maniera che si possono tirare un certo numero di colpi senza essere costretto a caricare di nuovo lo schioppo. E se avviene che nello stoppaccio si trovino delle materie dure, come della sabbia, del legno, si vedrà alla bocca della canna uno sprigionamento di luce.

271. *Della fontana di compressione*. Questa fontana consiste in un vaso della forma AB (f. 28 t. VI) attraversato nel suo mezzo da un piccolo tubo di rame che entra per l'apertura o, la quale si apre e si chiude a piacere per mezzo di un robinetto R; il tubo s'invita su l'apertura e si fa scender sino al fondo. Si versi dell'acqua nel vaso in modo da lasciar vuota solo la parte superiore S; per il che si toglie il tubo, e subito dopo si rimette in sito. In seguito s'invita in o un corpo di tromba simile a quello del fucile a vento, e dopo aver aperto il robinetto di comunicazione R, si fa agire lo stantuffo. Nella fontana vi penetra una certa quantità d'aria che unisce la sua elasticità a quella dell'aria dell'interno, di maniera che dando un numero sufficiente di colpi di stantuffo si può condensare nella parte superiore S una grandissima quantità d'aria. Ciò fatto, si chiude il robinetto R per isvitare il corpo di tromba, il quale verrà rimpiazzato da un piccolo tubo con piccolo orifizio: se si apre il robinetto R, l'aria condensata al di sopra dell'acqua avendo una forza elastica superiore a quella dell'aria esteriore che preme sul medesimo liquido per l'apertura del vaso, la fa uscire sotto la forma di zampillo che in principio si eleva a grande altezza, ma va poscia sempre abbassandosi a misura che scema la forza elastica dell'aria interna, e finisce per disparire totalmente,

DELLE TROMBE.

272. La teorica delle trombe va naturalmente unita a quella del barometro, e di tutti gli apparecchi, gli effetti de' quali dipendono dal peso e dall'elasticità dell'aria.

Tre specie di trombe vi sono: tromba aspirante, tromba premente, tromba aspirante e premente, o tromba composta.

273. La *tromba aspirante* è formata da un canale AB (*f. 29 t. VI*) chiamato corpo di tromba, che con l'estremità inferiore pesca nell'acqua, e nel quale si fa salire e scendere a volontà per mezzo di un'asta T uno stantuffo P, il quale esattamente riempie l'interno del corpo di tromba. Un tale stantuffo è munito di una valvola F che si apre dal basso in alto; e nell'interno del corpo di tromba, ad una distanza dal livello dell'acqua minore di 32 piedi, si trova una seconda valvola F' che si apre nel medesimo senso. Quando lo stantuffo P scende, la valvola F' resta chiusa pel proprio suo peso; ma la valvola F essendo sollevata dalla forza elastica dell'aria compressa tra lo stantuffo e la valvola F', l'aria stessa se n'escce. Quando si alza lo stantuffo P, si forma un vòto sotto di esso, la valvola F si chiude naturalmente tanto per effetto del suo proprio peso che per effetto della pressione atmosferica; la valvola F' al contrario è sollevata dalla forza elastica dell'aria compressa fra essa e la superficie dell'acqua. Quest'aria si spande in parte nello spazio vòto che lascia lo stantuffo P sotto di se, e diminuendo necessariamente la forza elastica, la pressione atmosferica fa montare l'acqua ad una certa altezza nella parte del corpo di tromba situata sotto la valvola F'. Se si continua, si comprende che il moto dello stantuffo farà ben tosto montare l'acqua al di sopra della valvola F'. Lo stantuffo essendo allora venuto a contatto con questa valvola, il liquido aprirà la valvola F, e potrà essere trasportato per mezzo dello stantuffo ad una voluta altezza, e sgorgare per un tubo laterale O.

Dicevmo che la valvola F' del corpo di tromba non deve esser situata più di 32 piedi sopra del livello dell'acqua del serbatoio, poichè oltre questo limite, inutilmente verrebbe fatto il vòto nella parte M, mentre l'acqua non arriverebbe fino alla valvola F', non potendo il peso dell'atmosfera far equilibrio che ad una colonna di 32 piedi d'acqua.

In pratica viene in generale situata la valvola F' molto al di sotto di quest'altezza.

274. La *tromba premente* è parimenti formata da un corpo di tromba AB (*f. 30 t. VI*), nel quale sale e scende a strosinio uno stantuffo P. Se non che qui è intieramente solido, ed il tubo pel quale esce l'acqua nasce alla parte inferiore del corpo di tromba, e pesca in parte nel serbatoio d'acqua *mn*. All'ingresso di questo tubo è una valvola F che si apre dall'interno all'esterno del corpo di tromba; e questo immediatamente al di sotto del tubo laterale presenta una seconda valvola F' che si apre dal basso in alto. Quando si abbassa lo stantuffo, la valvola F' si mantiene chiusa, e la valvola F si apre per far uscire l'aria che lo stesso stantuffo condensa; quando si rialza, la valvola F si chiude, e come l'acqua tende sempre a mettersi a livello, la valvola F' si apre, e fa passare una certa quantità di liquido sopra di essa e poi si richiude. Si abbassi di nuovo lo stantuffo, la valvola F si apre per far passare l'acqua, la quale viene nel

tubo laterale ad una certa altezza. Si continua nell'istesso modo, e ben tosto l'acqua esce per l'orifizio O. La pressione atmosferica non ha parte alcuna in questa tromba, sicchè si otterrebbero gli stessi effetti anco nel vòto, nel mentre l'acqua non ascende nella precedente tromba che in virtù del peso dell'atmosfera.

275. La *tromba composta* è così chiamata perocchè ella riunisce gli effetti delle due precedenti, e differisce dalla tromba premente in quanto che la valvola F' , e per conseguente il tubo laterale sono al di sopra del livello dell'acqua *mn*. Abbassando lo stantuffo P (*f. 33 t. VI*) la valvola F' si tien chiusa e tutta l'aria compresa tra P e la medesima valvola si sprigiona per la valvola F. Ed elevando lo stantuffo, la valvola F si chiude, quella F' s'apre, e l'aria compresa tra questa ed il livello dell'acqua si spande in partenel vòto fatto sotto allo stantuffo. Vedesi dunque che facendo operare abbastanza lo stantuffo P, tosto si giungerà ad elevar l'acqua su la valvola F' , indi si spingerà nel tubo laterale sopra la valvola F, ed a questo modo si potrà far montare l'acqua abbastanza alta in questo tubo per farla cadere nell'orifizio O. È soverchio il dire che per poter far uso di questa tromba, bisogna, come nella tromba aspirante, che la valvola F' sia al di sopra del livello dell'acqua ad un'altezza minore di 32 piedi.

L'addizione di un serbatoio d'aria al tubo laterale rende continuo il getto. L'acqua si eleva per opra dello stantuffo nel serbatoio AR (*f. 34 t. VI*), e prima comincia a condensar l'aria che vi si trova chiusa, dopo qualche colpo di stantuffo esce pel tubo S, e poichè l'aria continuamente preme la superficie AC del serbatoio, sarà continuo lo scolo, mentre nella tromba precedente lo scolo è solamente prodotto dall'abbassarsi dello stantuffo. Ci s'insegna per via della pratica che al serbatoio ad aria è necessario dare una capacità uguale a circa ventitrè volte quella della parte del corpo di tromba percorso dallo stantuffo. La tromba premente, a questa maniera modificata, può vantaggiosamente servire come tromba da inaffiare i giardini ec.

276. *Tromba de' preti* (*f. 31 t. VI*) in questa lo stantuffo è rimpiazzato da un diaframma di cuoio fissato per la circonferenza al corpo di tromba, e il centro del quale è occupato da un disco metallico su cui è fissata la valvola. Sollevata l'asta T, lo spazio posto tra il diaframma e la valvola F s'ingrandisce, e questa si apre; abbassata l'asta, la valvola si chiude, di modochè il diaframma produce il medesimo effetto che lo stantuffo, ma con minore strofinio.

277. Si son proposte varie trombe a due stantuffi. La seguente (*f. 10 t. VII*) immaginata dal signor Riccardo Franklin, ci sembra una delle più semplici ed ingegnose. *a b*, è la leva che serve a muovere i due sopraddetti stantuffi P e P' ; il punto fisso di questa è in *c*; *b d* l'asta attaccata allo stantuffo inferiore P' ; *h f* quella attaccata al superiore P; due ruote *m* ed m' girando sopra se stesse, man-

tengono gli stantuffi verticali. L'ascensione della leva ab fa salire lo stantuffo inferiore, e discendere il superiore; le valvole de' quali aprendosi di basso in alto, ognuno di essi abbassandosi, lascerà passarsi l'acqua al di sopra. Per $A B$ vien indicato il corpo di tromba, per H il condotto immerso nell'acqua, e finalmente per K il tubo di scarica.

278. La *tromba da incendio* usata in Francia si compone di due corpi di tromba, fra i quali trovasi un serbatoio ad aria M (f. 17 t. VI): è locata in un serbatoio pieno d'acqua, la quale è aspirata dalla tromba, e respinta nel serbatoio, donde per via di un tubo di cuoio CD viene spinta nella voluta direzione; alcune lamine di metallo traforate impediscono alla ghiaia di penetrare nel corpo di tromba. Sovente i corpi di tromba sono a tal modo disposti da comunicare, secondo che si voglia, con ogni altro serbatoio di acqua. In ognuno dei corpi di tromba, ed in ogni condotto d'aria è una valvola che permette il passaggio in questi dell'acqua del serbatoio, e da questo nel recipiente in cui vuol condursi.

Della fontana intermittente.

279. Questa fontana è poco usata nelle arti, ma noi ne faremo molto poichè ci offre un' applicazione dell' elasticità, e della gravità dell'aria. Il serbatoio è ordinariamente un globo di vetro (f. 7 t. VII) traversato da un tubo metallico AB secondo il suo asse verticale, l'estremità superiore del qual tubo è ad una tal quale distanza dalla parte più alta del globo, e l'estremità inferiore portante una picciola escavazione E , tocca il fondo di un pozzetto DC , che ha un picciol foro nel centro; il tubo surriferito tenuto in situazione verticale da un cilindro metallico EF , nel quale s'incassa, e che è fissato al pozzetto CD per differenti sostegni, entra nel globo per via di un' apertura cilindrica ch'esattamente richiude. Finalmente dattorno al tubo il pallone ha varî fori, ai quali sono adattati altrettanti tubetti metallici t, t', t'' .

Riempiasi d'acqua intieramente il globo per via di un'apertura o che poi si richiude. Facendo equilibrio l'aria interiore alla pressione esteriore, il liquido sgorga da prima in virtù del suo proprio peso dagli orifizî t, t', t'' , e di là cade nel pozzetto CD rendendosi al recipiente sotto di esso, e passando per l'apertura fatta al centro del pozzetto medesimo; ma essendo tale siffatta apertura che in un tempo determinato lascia escire meno di acqua che non fanno i tubi t, t', t'' insieme, giungerà necessariamente un tempo in cui l'incavo E sarà del tutto chiuso dall'acqua del pozzetto, e allora l'aria esterna non potrà introdursi nel globo.

Ma continuando sempre a sgorgare l'acqua da' tubi t, t', t'' , lo spazio superiore, il volume dell'aria cioè che internamente la preme, più e più s'ingrandisce, e conseguentemente la forza elastica del fluido più

e più si dovrà indebolire. Vedesi che dopo alquanto tempo questa stessa forza elastica aggiunta alla colonna d'acqua che rimane nel globo, sarà contrabbilanciata dalla pressione esterna, ed allora cesserà lo sgorgo. Frattanto l'acqua sgorgerà dal pozzetto CD; e quando l'incavo del tubo A B sarà libero, l'aria esterna di nuovo s'introdurrà nel globo, ricomincerà dunque lo sgorgo, e continuerà fin che l'incavo non sia di nuovo chiuso dall'acqua, e così di seguito sino alla uscita completa dell'acqua del globo (A)



(A) La fontana intermittente dà luogo a molti problemi: 1° Un cilindro chiuso è pieno di mercurio fino ad una tal quale altezza, e contiene alquanto di aria secca nella parte superiore, ed alla pressione esterna H. Si domanda quanto mercurio ne scorrerà praticando un'apertura alla base. Sia A l'altezza totale del cilindro, B quella del mercurio, X quella del mercurio sgorgato. Si avrà $B - X + H \left(\frac{A - B}{A - B + X} \right) = H$. 2°

Solvere la medesima quistione sostituendo al mercurio l'acqua. Supporremo gli stessi dati, e di più, ammetteremo che alla temperatura dell'esperienza la forza elastica del vapore d'acqua sia F. È chiaro che lo sgorgo si arresterà quando la elasticità dell'aria secca diminuita per la dilatazione, la forza elastica del vapore che chiude, e la colonna d'acqua, faranno equilibrio al peso dell'atmosfera. Ora l'elasticità dell'aria secca è $H - F$. L'ingrandimento del volume ha luogo nel rapporto di $A - B$ ad $A - B + X$; l'elasticità dell'aria

manca nello stesso rapporto, e per conseguente diventa $(H - F) \frac{(A - B)}{A - B + X}$. La

forza elastica del vapore è sempre F, poichè vi ha tanto di acqua da poter saturare tutto lo spazio. E poichè le diverse elasticità, oome la pressione esterna, sono espresse per via delle altezze del mercurio, bisogna dividere la rimanente colonna d'acqua per 13,586, densità del mercurio. Dunque si avrà la equazione

$$(H - F) \frac{(A - B)}{A - B + X} + F + \frac{B - X}{13,586} = H.$$

In ciascuna di equazioni siffatte tutto è conosciuto tranne X, facilmente dunque si avrà il valore di quest'incognita.

Della fontana di Erone.

280. Questa fontana (*f. 8 t. VII*) si compone di due globi tenuti per un cilindro intermediario l'uno sopra l'altro. Ed in questo cilindro vi ha un tubo metallico che stabilisce la comunicazione tra i due globi, e si prolunga nel superiore sino ad una certa distanza dalla parte sua più elevata. Sopra è un pozzetto attraversato al centro da un tubo verticale OC, che affondandosi quasi all'estremo del globo superiore si vien assottigliando verso la superiore apertura O. Finalmente il pozzetto del pari comunica col globo inferiore per via di un tubo laterale HK.

Riempito d'acqua in parte il globo superiore, l'aria interna premendo assolutamente allo stesso modo la superficie del liquido, che l'aria esterna a cui apre l'adito l'orifizio O, si vede essere esso al medesimo livello nel tubo OC, e nel globo. Se nondimeno si versi l'acqua nel globo inferiore dal tubo HK, l'aria del globo medesimo monta in parte nel superiore, accresce la forza elastica di quella che vi è chiusa, e forza ad uscire l'acqua dal tubo OC sotto forma di un getto. E come cade l'acqua stessa nel bacino AB, così scorre nel tubo HK versandosi nel globo inferiore, il che trattiene la forza elastica dell'aria interna de' due globi; e d'altra parte vedesi che il getto tanto più dura quan'to la capacità del globo inferiore è più grande rapporto a quella dell'altro globo. Vedi più innanzi l'applicazione di questa fontana alle *lucerne idrostatiche*.

Del Sifone.

281. Alla pressione dell'atmosfera dobbiamo gli effetti del sifone, il quale istromento serve a travasare i liquidi, ed in generale consiste in un tubo ricurvo con due braccia ineguali, di che il più corto s'immerge nel liquido da travasare (*f. 27 t. V*). Sia AB un vaso pieno d'acqua, bisogna far passare quest'acqua nel vaso N; però il braccio più corto HO s'immerga nel vaso AB, e si aspiri per la estremità opposta C a tal modo da rarefare l'aria interna del tubo; riempiasi prima di liquido il tubo stesso, e portisi il piccolo braccio nel vaso AB, avendo ben cura di tener il più lungo chiuso; suppongasi di operare, rarefacendo l'aria nel tubo, allora il liquido s'introduce in questo all'istante, e cade dal più lungo braccio: lo scolo sarà continuo finchè torni vuoto il vaso superiore AB.

È facile la teoria del sifone. La pressione atmosferica vien esercitata con eguale intensità all'estremità del braccio più lungo, e su la superficie del liquido, di modo che avanti la rarefazione dell'aria il livello di questo nel tubo è il medesimo che quello nel vaso. Al contrario se l'aria è rarefatta dall'aspirazione, l'acqua del vaso essendo premuta dal peso totale dell'atmosfera, deve levarsi nel tubo ed empirlo. Immaginando il tubo pieno, è chiaro ch'essendo i punti O ed

E del pari premuti dall'aria esterna, e le due parti HO ed HE del sifone facendosi equilibrio, la parte EK deve cadere, e sempre venendo rimpiazzata dal liquido del vaso superiore, lo scaturire avrà termine quando tutto il liquido sarà passato nel vaso N (B).

Se l'apparecchio fosse nel vóto, il liquido ricaderebbe in ogni braccio per virtù della gravità.

282. Per travasare i liquidi corrosivi, aggiungasi al tubo principale OC uno laterale EF (f. 33 t. V) per quest'ultimo tubo facciasi l'aspirazione, e si abbia cura medesimamente di rigonfiarlo verso la parte inferiore E per accumularvi il liquido, però si cessi d'aspirare quando vi è pervenuto.

Può del pari sostituirsi al tubo laterale una picciola tromba aspirante; ed avervi cura di chiudere la parte inferiore m nell'un caso e nell'altro.

Il sifone può servire a vuotar parte di un canale, o d'un fiume, come talvolta fu praticato. In tal caso si formerebbe di tavole chiuso alle due estremità, e si riempirebbe per la parte superiore. Quando è pieno, chiudasi l'apertura superiore, rendendosi libere le due estremità. Si può calcolare la immensa quantità di acqua che può farsi scorrere con un sifone di un metro di diametro.

283. La costruzione di un picciolo apparecchio curioso abbastanza, conosciuto sotto il nome di *tazza di Tantalò*, è fondata su la teoria del sifone. Consiste in un bicchiere comune nell'interno del quale è un tubo curvo COH (f. 1 t. VI); il ramo più corto OC è contenuto nel bicchiere, il più lungo esce pel piede sul quale è posto. Versando acqua nel bicchiere senza coprire il sommo O del sifone, nulla osservasi di particolare, ma tostochè il livello supera il colmo O , il liquido se ne scorre dal ramo più lungo, nè vale il versarvene di nuovo, che mai non si giunge ad empire il vaso.

284. Vi ha nella natura delle fontane intermittenti, l'azione delle quali è analoga a quella del sifone, o del vaso di Tantalò. Sia (f. 3

(B) Egli è facile dare l'espressione generale del sifone. Però immaginiamolo collocato in un fluido UVMN di una densità d , e d' la densità del liquido nel sifone O . Essendo ogni cosa simmetrica pe' punti O ed E , le colonne OH , ed HE come quelle OQ , ed EP sono senza influenza su lo scolo. È la sola differenza tra la pressione hd ed hd' che lo determina, essendo h eguale ad EK ; nel caso ordinario d è sempre più piccola di d' , e conseguentemente $hd < hd'$; il liquido EK deve cadere e strascinarsi quello del sifone, ma se fosse l'apparecchio avviluppato di mercurio, ovvero se fosse immerso nell'acqua intieramente un sifone pieno d'olio, si avrebbe $hd > hd'$, ed il liquido rimonterebbe nel vaso AB .

t. VI) una cavità *mno* prodotta nella terra: quando l'acqua l'avrà piena sino al punto più alto *K*, la fontana scorrerà sino che l'acqua medesima sia sotto *mnp*; e lo scolo ricomincerà quando le piogge avranno ricoudotta l'acqua alla stess'altezza *K*.

Lucerna Idrostatica.

285. *Lucerna di Girard.* Per concepire la costruzione di questa, prima bisogna por mente che nella fontana d'Erone l'altezza a che si eleva il getto diminuisce a poco a poco. Il Sig. Girard è giunto a render costante altezza siffatta. La *f. 21 t. VI* darà chiara idea di questa lucerna. Il serbatoio di olio *A* è collocato su due serbatoi *B* e *C* in parte pieni d'acqua; la colonna liquida del serbatoio intermedio che determina il movimento, ha la stessa altezza durante tutto il tempo in cui la lucerna è in azione, poichè questo serbatoio comunica con l'aria per mezzo di un tubo aperto *a b*, e noi sappiamo che la colonna liquida deve contarsi dal punto *a*. Il tubo *cd* conduttore dell'acqua dal serbatoio *B* in quello *C*, è avvolto alla parte inferiore da un cilindro *mn* i margini superiori del quale si elevano ad un'altezza ove non arriva mai il livello del serbatoio *C*. Risulta che l'acqua si spande ne' margini del cilindro *mn*, il che rende la colonna liquida determinatrice del movimento, sempre uguale ad *a d*. Per rendere l'ascensione dell'olio indipendente dal livello nel serbatoio *A*, si curva il tubo *h i k*, che porta l'aria del serbatoio *C*, in quello *A*, di maniera che l'estremità *k* sia a livello della estremità inferiore *l* del tubo *lp*, nel quale l'olio dee montare. Questa disposizione chiarisce che la elasticità dell'aria nel serbatoio *A* è più debole che quella nel serbatoio *C* di una quantità rappresentata dall'altezza *ki*, e che per con-

seguenza l'olio si eleverà solo ad un'altezza uguale a $op = ad \times \frac{d}{d'}$ — *ki*, *d* essendo la densità dell'acqua, *d'* quella dell'olio.

Ma come *ki* è uguale ad *lo*, altezza del livello del vaso *A* sopra l'estremità del tubo *lp*, è chiaro che l'olio si manterrà nel tubo sur-

riferito ad un'altezza *lp*, contata da *l*, eguale a $ad \frac{d}{d'}$. Possono in mo-

do disporsi le cose che il lucignolo, sia posto alla superiore estremità del tubo *lp*. Ecco la spiegazione della costruzione della lucerna di Girard. Beninteso che le dimensioni del serbatoio sono proporzionali al tempo in che la lucerna deve usarsi.

286. *La lucerna a soluzione salina è tutta diversa dalla precedente.*

In questa una soluzione salina equilibra la colonna di olio. Sia *A* un serbatoio (*f. 32 t. VI*) chiuso ed in parte pieno di una soluzione di questo genere, sia *B* un serbatoio pieno d'olio, sia finalmente

un tubo ef destinato ad alimentare il lucignolo. A render costante l'altezza del liquido sul serbatoio B, adattisi al serbatoio A un tubo ab aperto a' due lati, e che per la sua parte superiore s'immerga nell'atmosfera, dimanierachè la colonna, la quale determina il movimento è uguale ad ag . Faremo astrazione dalla variazione del livello della dissoluzione salina nel serbatoio B, poichè larghissimo è quest'ultimo. E parte si può calcolare la diminuzione di altezza della colonna di olio; però sia h l'elevazione del livello della dissoluzione salina nel serbatoio B; siano d la densità di questa medesima dissoluzione, e d'

quella dell'olio; $h \frac{d}{d'}$ sarà l'altezza dell'olio corrispondente ad h , ma essendosi l'olio elevato di h nel serbatoio B, ne segue che l'abbassamento vero della estremità della colonna d'olio sarà $h \frac{d}{d'} - h$, o

$h \left(\frac{d - d'}{d'} \right)$ di che sarà tanto minore il valore quanto d differirà meno da d' .

Nella lucerna del Sig. Thylorier, ch'è usitatissima, la densità della dissoluzione è a quella dell'olio come 157 a 100. E la dissoluzione è operata col solfato di zinco sciolto nel suo peso di acqua.

FINE DEL PRIMO VOLUME.

VAl
1524425

